

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Programmgruppe Technik und Gesellschaft



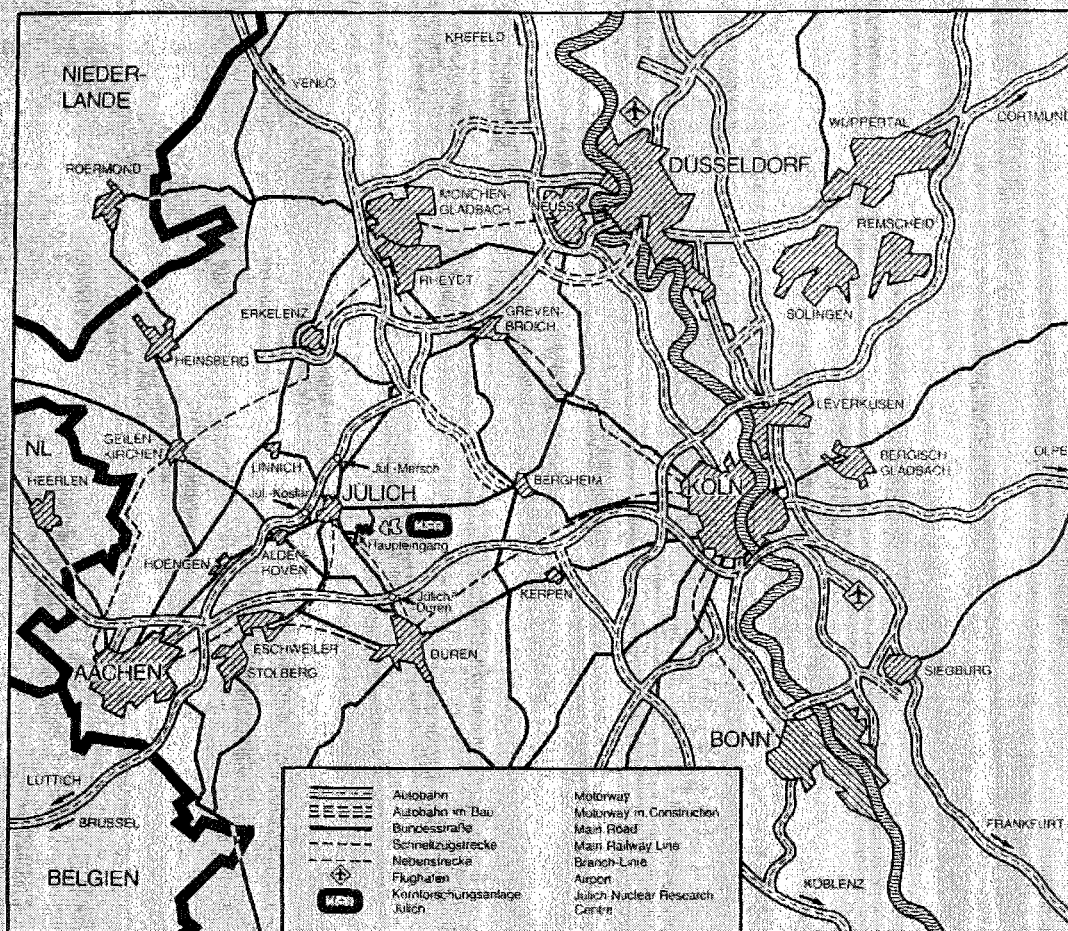
**Internationale
Kernmaterialüberwachung
bei einem Endlager
der Anderen Entsorgungstechniken**

von

R. Duttler, W. D. Lauppe, E. Pohlen,

B. Richter und G. Stein

Jül - Spez - 269
Dezember 1984
ISSN 0343-7639



Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich — Nr. 269

Programmgruppe Technik und Gesellschaft Jülich - Spez - 269

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 024 61/610 · Telex: 833556-0 kf d

**Internationale
Kernmaterialüberwachung
bei einem Endlager
der Anderen Entsorgungstechniken**

von

R. Buttler, W. D. Lauppe, E. Pohlen,

B. Richter und G. Stein

Beitrag zum F+E - Schwerpunkt
Andere Entsorgungstechniken

des Bundesministeriums
für Forschung und Technologie

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Grundlage des Referenzkonzeptes, das im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsschwerpunktes "Andere Entsorgungstechniken" erarbeitet wurde, werden Safeguards-Konzepte für ein direktes Endlager erarbeitet und bewertet. Die diskutierten Überwachungsmaßnahmen beginnen mit dem Eintreffen des Endlagergutes im Eingangsbereich des Endlagerbergwerkes und enden mit den Maßnahmen, die für die Nachbetriebsphase des Bergwerks vorgesehen sind. Safeguards für die Konditionierungsanlage bzw. den Transport der Endlagergebinde ist nicht Gegenstand dieser Studie.

In Kapitel 2 sind zunächst die für Safeguards-Anwendungen wichtigen Aspekte des Referenzkonzeptes ausgewählt und zusammengestellt worden. Für die Betrachtungen wird ein DWR-Standardbrennelement vom Typ Biblis B mit einem Abbrand von 40.000 MWd/t SM bei einer Anfangsanreicherung von 3,6 % zugrundegelegt. Nach einer Kühlzeit von mindestens 10 Jahren werden die abgebrannten Brennelemente in Transportbehältern mit je 12 Brennelementen einer Konditionierungsanlage zugeführt, die sich nicht notwendigerweise am Standort des Endlagers befindet. Die Konditionierung erfolgt in den zwei Teilschritten Vorkonditionierung und Endkonditionierung. Im Funktionsbereich Vorkonditionierung werden jeweils 3 unzerlegte Brennelemente gasdicht in eine sogenannte Trockenlagerbüchse eingeschlossen. Das so entstehende Zwischenlagergebinde wird im Funktionsbereich Endkonditionierung in einen Endlagerbehälter eingebracht. Ein Anlagendurchsatz von 700 t Schwermetall pro Jahr erfordert die Konditionierung von 6-9 Brennelementen pro Tag. Im Funktionsbereich Endkonditionierung fallen damit pro Tag 2-3 Endlagergebinde an.

Das Endlagerbergwerk wird in einem unverritzten Salzstock errichtet, wobei nach dem Referenzkonzept die Einlagerung in Strecken mit verlagerter Abschirmung vorgesehen ist. Das Bergwerk wird über zwei Schächte erschlossen. Der erste Schacht dient der Salzförderung, dem Materialtransport und der Personenbeförderung. Der zweite Schacht ist für Ein-

lagerungs- und Sondertransporte vorgesehen. Die Frischwetterzuführung erfolgt über Schacht 1; die ausziehenden Wetter treten durch Schacht 2 aus. Die Erkundung im vorgesehenen Einlagerungsbereich erfolgt durch Untersuchungsbohrungen und -strecken. Die Erkundungsstrecken stecken grob den Einlagerungsbereich ab und werden später als Wetterstrecken für die Abwetter aus den Einlagerungsfeldern genutzt. Nach Beendigung der untertägigen Erkundung werden Lage und Größe der Einlagerungsfelder festgelegt. Die Einlagerungssohle liegt voraussichtlich 30 m unter der Erkundungssohle in einer Teufe zwischen 700 m und 900 m. Der Einlagerungsbereich wird durch das Auffahren zweier paralleler Richtstrecken, die in Abständen von 200 m durch Querschläge verbunden sind, erschlossen. Ausgehend von den Querschlägen werden die Einlagerungsstrecken parallel zu den Richtstrecken aufgefahren. Vor Einlagerungsbeginn werden nur die Einlagerungsstrecken vom schachtfernsten Einlagerungsquerschlag aus aufgefahren. Das Auffahren der Einlagerungsstrecken vom nächsten Querschlag aus erfolgt zeitlich parallel zur Einlagerung im ersten Bereich des Einlagerungsfeldes.

Der Transport des Endlagergebundes nach unter Tage erfolgt auf einem schienengebundenen Plateauwagen über den Schacht 2. Der Transport unter Tage zum Einlagerungsquerschlag ist gleisgebunden; der Transport durch den Einlagerungsquerschlag in die Einlagerungsstrecke dagegen ist gleislos. Er wird mit einem Einlagerungsfahrzeug durchgeführt. Nach dem Absetzen des Gebundes wird der Streckenabschnitt mit dem Gebinde versetzt (Schleuder- oder Blasversatz). Sind alle Strecken eines Einlagerungsbereiches mit Gebünden belegt und versetzt, werden auch Einlagerungsquerschlag und die Wetterstrecken verfüllt. Nach Abschluß des Einlagerungsbetriebes - 40 Betriebswochen pro Jahr, 11 ELG pro Woche - werden alle Strecken und Hohlräume verfüllt, ebenso die Schächte. Das Bergwerk soll 50 Jahre bei einer Einlagerungsrate von 437 ELG pro Jahr betrieben werden.

In Kapitel 3 werden die NV-Aspekte der direkten Endlagerung behandelt. Als besonders bedenklich im Hinblick auf Nonproliferation wird die Anhäufung von Plutonium bei der direkten Endlagerung angesehen ("Plu-

toniummine"), da grundsätzlich der spätere Zugriff eines Staates zu den sehr großen Mengen an Plutonium nie ausgeschlossen werden kann. Wegen der großen Mengen eingelagerten Plutoniums und der langen Betriebsdauer eines solchen Lagers muß schließlich auch berücksichtigt werden, daß eine Aufkündigung oder Beendigung des Atomwaffensperrvertrages in verschiedenen Ländern nicht ausgeschlossen werden kann.

Von besonderer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse und Überlegungen der INFCE-Konferenz. INFCE Gruppe 7 WASTE MANAGEMENT AND DISPOSAL hat sich u.a. mit der Problematik von Safeguards in Endlagern für abgebrannte Brennelemente befaßt. Die Überwachung eines solchen Lagers während der Betriebsphase mit heute zur Verfügung stehender Safeguards-Technik wird von INFCE grundsätzlich für möglich gehalten. Langfristig wird nach INFCE die Effektivität der Safeguardsmaßnahmen jedoch in Frage gestellt, da die sich über Jahrhunderte hinziehende Nachbetriebsphase von zahlreichen, kaum übersehbaren technischen, politischen und sozialen Faktoren bestimmt wird.

Im Kapitel 4 werden neben den politischen und technischen Randbedingungen drei Safeguardsmodelle vorgestellt, die eine Überwachung des Endlagers gewährleisten sollen. Die Modelle unterscheiden sich durch die Zugangsberechtigung für die Inspektoren der IAEA. So ist in Modell 1 der Zugang beschränkt auf oberirdische Anlagen, Modell 2 sieht einen räumlich begrenzten Zugang zu den untertägigen Anlagen und Modell 3 räumlich unbeschränkten Zugang zu allen untertägigen Anlagen vor.

In Modell 1 ist der Zugang des Inspektors beschränkt auf strategische Punkte über Tage. Strategische Punkte sind die Schlüsselmeßpunkte, die übertägige Umschlagsanlage sowie die Rasenhängebänke der Schächte des Bergwerks. Wesentliches Element bei diesem Modell ist, daß nach dem Verbringen des Materials nach unter Tage eine Rückholung oder eine interne Abzweigung innerhalb des Bergwerks ausgeschlossen werden. Mit dem Verbringen nach unter Tage wird daher das Material aus der Safeguardsüberwachung entlassen und ausgebucht. Da bei diesem Modell nach

Abschluß der Einlagerungsaktivitäten definitionsgemäß kein überwachungspflichtiges Material mehr vorliegt, sind für die Nachbetriebsphase auch keine Überwachungsmaßnahmen mehr erforderlich.

Eine solche Entlassung des Materials aus der Überwachung setzt den Nachweis der Nichtrückholbarkeit voraus. Falls diese nicht vorausgesetzt werden kann, sind in der Nachbetriebsphase routinemäßige Inspektionen des Geländes erforderlich zur Kontrolle auf Aktivitäten, die ein Wiederauffahren des Bergwerks oder sonstige Maßnahmen zur Rückholung des Materials indizieren können.

Grundsätzliche Voraussetzung für Modell 1 ist, daß das Endlagerbergwerk selbst als ausreichende Barriere angesehen werden kann, so daß auf Maßnahmen verzichtet werden kann, die sicherstellen, daß es keine nicht deklarierten Containmentöffnungen gibt, durch die Material zurückgeholt werden kann und daß eine Abzweigung von Material innerhalb eines Containments (Wiederaufarbeitung unter Tage) ausgeschlossen werden kann.

Modell 2 umfaßt Modell 1 und folgende zusätzliche strategische Punkte unter Tage: Füllörter beider Schächte, Schnittpunkte der Richtstrecken mit den jeweiligen Einlagerungsquerschlügen und die Einmündungen der jeweiligen Einlagerungsstrecken in den Querschlag. Diese strategischen Punkte unter Tage erlauben es dem Inspektor, den untertägigen Kernmaterialfluß in verschiedenen Intensitätsstufen zu überwachen. Auf dieses Modell treffen im wesentlichen die gleichen Einschränkungen wie auf Modell 1 zu. Es müßte eine Terminierung der Überwachung mit dem Verfüllen der Strecke möglich sein bzw. das Endlagerbergwerk selbst als ausreichend sichere Barriere angesehen werden. Der Zugang des Inspektors zu strategischen Punkten unter Tage würde eine Abzweigung im Endlagerbergwerk zwar wesentlich erschweren, sie kann jedoch nicht mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Modell 3 umfaßt Modell 2 und darüber hinaus als zusätzliche Maßnahme den Zugang des Inspektors zu allen untertägigen Anlagen und Einrichtungen. Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und/oder Beobachtung sind somit im Bereich aller übertägigen und untertägigen Anlagen und Einrichtungen des Endlagerbergwerks, eingeschlossen den Abfall-Lagerbereich vorgeschlagen.

Ausgehend von diesen drei Überwachungsmodellen wurde eine Abzweigungs- und Mißbrauchsanalyse erstellt sowie eine Effektivitätsbewertung vorgenommen, die zu folgendem Ergebnis führten: Sowohl in der Phase des Übertagetransportes (Phase 1) als auch in der Phase des untertägigen Transportes der Endlagergebinde bis zu ihrem Versetzen vor Ort (Phase 2) kann eine ausreichende Überwachung gewährleistet werden. Während der Betriebsphase können die Überwachungsmaßnahmen bereits versetzter Endlagergebinde (Phase 3) in permanenter Design-Reverifizierung (Überwachungsmodell 3) bestehen; die Bewertung ihrer Effektivität läßt jedoch offene Probleme erkennen. Ähnliches gilt für die Verifizierung der Integrität des stillgelegten Bergwerks in der Nachbetriebsphase (Phase 4).

In Kapitel 5 werden Ansätze zur Lösung des Safeguardsproblems vorgeschlagen und diskutiert. Ein erster Lösungsansatz wird in der Änderung der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie gesehen. Die IAEA hält eine Quantifizierung von Zielgrößen durch die Aufstellung von numerischen Entdeckungszielen (signifikante Menge, Entdeckungszeit, Entdeckungswahrscheinlichkeit, Fehlalarmwahrscheinlichkeit) für erforderlich. Wesentliche Zielgrößen in den Überwachungsmaßnahmen der IAEA, an der sie Maßnahmenplanung, Mitteleinsatz und Effektivitätsbewertung ausrichtet, ist dabei die Entdeckungswahrscheinlichkeit. Da derzeit kein Verfahren existiert, mit dem die Entdeckungswahrscheinlichkeit bei der Anwendung von Containment- und Surveillancemaßnahmen (C/S-Maßnahmen) quantifiziert werden kann, sind Safeguardsmodelle, die in wesentlichen Teilen oder, wie im Endlager erforderlich, nahezu ausschließlich auf C/S-Maßnahmen basieren, mit diesem Ansatz nicht objek-

tiv planbar und in ihrer Wirksamkeit berechenbar. Das führt dazu, daß sie von der IAEA als nicht akzeptierbar eingestuft werden.

Ein zweiter Lösungsansatz wird in der Weiter- und ggf. Neuentwicklung von Safeguardselementen gesehen. In der Betriebsphase des Endlagers besteht das Problem darin, durch geeignete Maßnahmen der Überwachungsbehörde eine quantifizierbare Gewißheit darüber zu vermitteln, daß das eingelagerte Material noch vorhanden ist. Diese Quantifizierung ist im strengen Sinne nur für Bilanzierungsmaßnahmen möglich. Für die numerische Bestimmung der Aussagekraft von C/S-Maßnahmen wurde noch keine Methodik entwickelt; der einer Verifizierung mit C/S anhaftende Fehler läßt sich nicht genau angeben. Dieses Problem läßt sich bei anderen Anlagen in der Regel dadurch entschärfen, daß die Materialverifizierung grundsätzlich durch Bilanzierungsmaßnahmen erfolgt und C/S-Maßnahmen nur für Materialteilmengen und für begrenzte Zeiträume als unterstützende Maßnahmen eingesetzt werden. Diese Einschränkungen (Begrenzung auf Teilmengen und limitierte Zeiträume) müssen für das Endlager entfallen. Eine Überwachung wäre nur noch mit einem reinen C/S-Konzept möglich, und hierfür fehlt sowohl die vertragliche als auch die methodische Grundlage. D.h., selbst unter der Voraussetzung, daß Safeguardselemente neu- oder weiterentwickelt werden und damit eine C/S-gestützte Überwachung des eingelagerten Materials ermöglichen, ist ihre Einordnung in das Safeguardsystem nur als ergänzende Maßnahmen möglich. Sie stellen allein keine grundsätzliche Lösung des identifizierten Problems dar.

Als dritter Lösungsansatz wird die Anpassung des Referenzkonzeptes an die gültige Safeguardspraxis diskutiert. Als Ansatzpunkte ergeben sich die Konditionierung des Materials in der Weise (Auflösen und Verdünnen), daß die Terminierungskriterien für Safeguardsüberwachung erfüllt werden oder die Lagerung des Materials in der Weise (rückholbar), daß es für Verifizierungsmaßnahmen zugänglich bleibt. Beide Behandlungswege scheiden als realistische Alternativen aus. Durch Auflösen des Brennstoffs und Konditionierung in Form von PAMELA-Kokillen würde die Aufnahmefähigkeit z.B. des Salzstocks Gorleben nicht einmal für einen

einzigsten Jahresdurchsatz von 700 t Kernbrennstoff ausreichen. Bei einer Lagerung in der Art, daß das Material für eine Verifizierung weiter zugänglich bleibt, würden ungeachtet der technischen Durchführbarkeit die wesentlichen Ziele des Endlagerkonzeptes nicht erreicht, nämlich die Isolierung des Materials von der Biosphäre und von weiteren menschlichen Zugriffsmöglichkeiten. Eine zugängliche Lagerung unter Tage dürfte schon aus Gründen der Wärmeabfuhr und der Gesteinsstabilität so viele Fragen aufwerfen, daß dies nicht mehr als Änderung des Referenzkonzeptes angesehen werden kann, sondern die Erarbeitung eines neuen Konzeptes erforderlich macht.

Als vierter Ansatz werden Lösungsmöglichkeiten im institutionellen Bereich diskutiert. Der Ausgangspunkt für institutionelle Lösungsansätze ist die Tatsache, daß zur Durchführung einer Abzweigung neben den erforderlichen technischen Maßnahmen in erheblichem Umfang organisatorische Arbeiten abzuwickeln sind. Durch multinationale Kooperationsformen können im organisatorischen Bereich zusätzliche Barrieren errichtet werden, die die Durchführung einer Abzweigung erschweren und das Entdeckungsrisiko erhöhen. Ein weiterer Aspekt ist ggf. der, daß durch den Ausbau internationaler Verflechtungen die Sanktionsfähigkeit der Staaten erhöht wird.

Die Berücksichtigung institutioneller Aspekte erhielt wesentliche Impulse durch die INFCE-Konferenz und findet Niederschlag in der Arbeitsgruppe IPS. Dabei ist jedoch zu sehen, daß institutionelle Aspekte von der IAEA als zusätzliche Maßnahmen und nicht als Alternative zu einer stringenten technischen Überwachung angesehen werden. Institutionelle Modelle mit multinationaler Mitsprache oder Kooperation stellen wegen der damit verbundenen Proliferationsbarriere sicherlich einen Lösungsansatz für die generelle NV-Problematik des Endlagers dar. Sie sind jedoch nicht geeignet, das Safeguardsproblem zu lösen. In diesem Zusammenhang wird auf die besondere Rolle von EURATOM eingegangen, die aufgrund der vertraglichen Randbedingungen über Eigentumsrechte an Kernmaterial und besondere Rechte bei der Lagerung von Kernmaterial verfügt.

In Kapitel 6 erfolgt eine Bewertung der vorgenannten Lösungsansätze. Der erste Lösungsansatz für das Safeguardsproblem des Endlagers war in einer Änderung der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie gesehen worden. Danach müßte die IAEA ein Safeguardsmodell akzeptieren, das in wesentlichen Teilen - bzw. in der Nachbetriebsphase ausschließlich - auf C/S-Maßnahmen basiert. Da in diesem Fall die Entdeckungswahrscheinlichkeit, d.h. die wesentliche Zielgröße der IAEA-Überwachung, nach dem heutigen Entwicklungsstand nicht quantifiziert werden kann, würde ein solcher Ansatz von der IAEA als nicht akzeptierbar eingestuft. Bei einem Auftreten von Anomalien, z.B. bei Fehlalarm, ist eine Verifizierung des Kernmaterials nicht möglich.

Auch der zweite Lösungsansatz, der die technische Weiterentwicklung von Safeguardselementen vorsieht, kann aus denselben Gründen keine grundsätzliche Lösung dieser inhärenten Überwachungsproblematik herbeiführen.

Der dritte Lösungsansatz besteht darin, durch Änderung des Referenzkonzeptes (etwa durch Auflösen und Verdünnen des Kernbrennstoffs) die Überwachbarkeit des Endlagers nach der derzeitigen Safeguardspraxis zu gewährleisten. Realistische Möglichkeiten sind auch in diesem Fall nicht in Sicht, da damit viele der gewünschten Charakteristika eines direkten Endlagers in Frage gestellt werden.

Institutionelle Modelle mit multinationaler Mitsprache und Kooperation (vierter Lösungsansatz) stellen wegen der mit ihnen verbundenen Proliferationsbarrieren sicherlich eine Vereinfachung für die NV-Problematik des Endlagers dar. Neben der sich damit ergebenden Fragestellung der politischen Akzeptanz sind sie ebenfalls nicht geeignet, das Safeguardsproblem zu lösen. In diesem Umfeld muß bei der Etablierung eines direkten Endlagers insbesondere auch die Rolle von EURATOM berücksichtigt werden, die sich aus ihren Kontrollfunktionen und aus ihrem Eigentumsrecht an allen besonderen spaltbaren Stoffen ergibt.

Vor einem abschließenden Votum ist ein Vergleich von wesentlichen NV-Aspekten der direkten Endlagerung mit der Wiederaufarbeitung von Interesse. Dieser Vergleich läßt die Vorteile für die Entsorgungsstrategie der Wiederaufarbeitung deutlich werden.

Obwohl nach dem Musterabkommen der IAEA (INFCIRC/153) /3-4/ grundsätzlich jede kerntechnische Anlage überwachbar sein sollte, ist aufgrund der hier zusammengetragenen Fakten und Analysen die Schlußfolgerung naheliegend, daß die Entsorgungsstrategie mit einer direkten Endlagerung unter Safeguardsgesichtspunkten problematisch ist, da die technische Realisierung eines Safeguardskonzeptes infrage gestellt werden muß.

Für bestimmte Brennelementtypen, bei denen eine Wiederaufarbeitung nicht vorgesehen und nicht lohnend ist, kann Art. 35 VA eine Lösungsmöglichkeit anbieten. Für diesen Fall der begrenzten Einlagerung von abgebrannten Brennelementen könnte eine internationale Überwachung nach diesem Artikel aushandelbar sein.

| INHALTSVERZEICHNIS | | Seite |
|--------------------|--|--------|
| 1 | EINLEITUNG | 1 - 1 |
| 2 | TECHNISCHES REFERENZKONZEPT UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VON SAFEGUARDS | 2 - 1 |
| 2.1 | Konditionierung des Endlagergutes | 2 - 1 |
| 2.1.1 | Vorkonditionierung | 2 - 1 |
| 2.1.2 | Endkonditionierung | 2 - 2 |
| 2.2 | Das Endlagerbergwerk | 2 - 4 |
| 2.2.1 | Vorgaben | 2 - 4 |
| 2.2.2 | Aufschluß des Endlagerbergwerkes | 2 - 6 |
| 2.2.3 | Der Einlagerungsbetrieb | 2 - 8 |
| 2.2.4 | Maschinen und Fahrzeuge im Bergwerk | 2 - 13 |
| 2.2.5 | Bewetterung des Bergwerks | 2 - 14 |
| 3 | NV-ASPEKTE DER DIREKTEN ENDLAGERUNG | 3 - 1 |
| 3.1 | Direkte Endlagerung im Vergleich zur Entsorgung über Wiederaufarbeitung | 3 - 1 |
| 3.1.1 | Konsequenzen eines direkten Endlagers als Modell für Drittländer | 3 - 1 |
| 3.1.2 | Möglichkeit der Terminierung von Safeguards | 3 - 3 |
| 3.1.3 | Überlegungen zu einem Endlager für HAW und abgebrannte Brennelemente | 3 - 5 |
| 3.1.4 | Extrapolation der IAEA-Diskussionen für sensitive Anlagen auf ein direktes Endlager | 3 - 6 |
| 3.2 | Ergebnisse der NV-Diskussionen in INFCE | 3 - 7 |
| 4 | ANWENDUNG VON IAEA-SAFEGUARDS-REGULATIONS AUF DAS REFERENZKONZEPT | 4 - 1 |
| 4.1 | Politische und technische Randbedingungen | 4 - 1 |
| 4.1.1 | Gesetzliche Grundlagen der Überwachung | 4 - 1 |
| 4.1.1.1 | Der EURATOM-Vertrag | 4 - 1 |
| 4.1.1.2 | Auswirkungen des NV-Vertrages | 4 - 4 |

| | Seite |
|--|--------|
| 4.1.1.3 Die Überwachung durch IAEA und EURATOM | 4 - 5 |
| 4.1.2 Randbedingungen für die Durchführung der Überwachung | 4 - 7 |
| 4.1.2.1 Durch EURATOM | 4 - 7 |
| 4.1.2.2 Durch IAEA | 4 - 8 |
| 4.1.3 Derzeitige Diskussion | 4 - 17 |
| 4.2 Safeguardskonzept | 4 - 19 |
| 4.2.1 Endlagerbehälter | 4 - 19 |
| 4.2.2 Kernmaterialfluß | 4 - 20 |
| 4.2.3 Vorüberlegungen zum Safeguardskonzept | 4 - 21 |
| 4.2.4 Safeguardskonzepte für unterschiedliche Zugangsmodelle | 4 - 25 |
| 4.2.4.1 Zugangsmodell 1 | 4 - 25 |
| 4.2.4.2 Zugangsmodell 2 | 4 - 29 |
| 4.2.4.3 Zugangsmodell 3 | 4 - 33 |
| 4.3 Safeguardselemente | 4 - 34 |
| 4.3.1 Voraussetzungen | 4 - 34 |
| 4.3.2 Materialbilanzierung | 4 - 37 |
| 4.3.3 Containment- und Surveillance-Maßnahmen | 4 - 38 |
| 4.3.3.1 Siegeleinrichtungen | 4 - 38 |
| 4.3.3.2 Optische Sensoren | 4 - 41 |
| 4.4 Abzweigungs- und Mißbrauchsanalyse | 4 - 43 |
| 4.4.1 Betriebsphase | 4 - 43 |
| 4.4.1.1 Modell 1 | 4 - 43 |
| 4.4.1.2 Modell 2 | 4 - 45 |
| 4.4.1.3 Modell 3 | 4 - 48 |
| 4.4.2 Nachbetriebsphase | 4 - 49 |
| 4.4.3 Effektivitätsbewertung | 4 - 49 |
| 4.5 Effektivitätsbewertung und Schwachstellenanalyse des Safeguardssystems | 4 - 53 |
| 4.5.1 Phase 1 - Transport über Tage | 4 - 53 |
| 4.5.2 Phase 2 - Transport unter Tage | 4 - 55 |
| 4.5.2.1 Modell 1 | 4 - 56 |
| 4.5.2.2 Modell 2 | 4 - 58 |
| 4.5.2.3 Modell 3 | 4 - 60 |

| | Seite |
|---|--------|
| 4.5.3 Phase 3 - Lagerung während der Betriebszeit des Endlagers | 4 - 60 |
| 4.5.3.1 Modell 1 | 4 - 61 |
| 4.5.3.2 Modell 2 | 4 - 61 |
| 4.5.3.3 Modell 3 | 4 - 62 |
| 4.5.4 Phase 4 - Nachbetriebsphase des Endlagers | 4 - 69 |
| 4.6 Resultierende Problemdefinition | 4 - 70 |
| 5 LÖSUNGSANSÄTZE | 5 - 1 |
| 5.1 Änderungen in der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie | 5 - 1 |
| 5.1.1 Relativierung der numerischen Entdeckungsziele | 5 - 1 |
| 5.1.2 Überwachung des Spaltstoffflusses | 5 - 3 |
| 5.1.3 Entlassung des Spaltstoffes aus der Überwachung | 5 - 5 |
| 5.1.4 Berücksichtigung der Abschreckung | 5 - 7 |
| 5.2 Weiter- und ggf. Neuentwicklung von Safeguards-elementen | 5 - 8 |
| 5.2.1 Einsatz und Wirkungsbereich von Surveillance-Maßnahmen | 5 - 10 |
| 5.2.2 Einsatz neuartiger Safeguardstechniken | 5 - 11 |
| 5.2.3 Anwendung von Anlagenkontrolle | 5 - 12 |
| 5.3 Anpassung des Referenzkonzeptes an die gültige Safeguardspraxis | 5 - 13 |
| 5.4 Lösungsmöglichkeiten im institutionellen Bereich | 5 - 16 |
| 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN | 6 - 1 |
| 7 LITERATURVERZEICHNIS | 7 - 1 |
| 8 VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN | 8 - 1 |
| 9 VERZEICHNIS DER TABELLEN | 9 - 1 |
| 10 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN | 10 - 1 |

1 EINLEITUNG

Als Alternative zur großtechnischen Wiederaufarbeitung von Brennelementen wird die Möglichkeit der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente betrachtet. Die Endlagerung bezweckt die Isolierung des radioaktiven Materials von der Biosphäre und von zufälligen menschlichen Zugriffsmöglichkeiten ohne zeitliche Befristung. Das Sicherheitskonzept ist daraufhin ausgelegt, die Sicherheit der Lagerung zu gewährleisten, ohne daß es nach der endgültigen Verschlüsselung des Lagers menschlicher Wartung oder Überwachung bedarf. Von ihrem Konzept her ist die Endlagerung eine irreversible Lagerung.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsschwerpunktes "Andere Entsorgungstechniken" wird die Endlagerung abgebrannter Brennelemente in einem Salzstock untersucht. Für diese direkte Endlagerung des abgebrannten Brennstoffes wurden mehrere Konzepte für die Konditionierung, den Endlagerbehälter und die Einlagerungstechnik erarbeitet. Von diesen wurde jeweils ein Konzept als Referenz ausgewählt, das die Kriterien der Sicherheitstechnik, der technischen Realisierbarkeit, der Rohstoffverfügbarkeit und in Ansätzen auch der Wirtschaftlichkeit und Kernmaterialüberwachung am besten erfüllt. Über die Festlegung der Referenzkonzepte hinaus wurden back-up-Lösungen für jede Komponente festgelegt.

Auf der Grundlage des Referenzkonzeptes soll von KFA-TUG ein Kernmaterial-Überwachungskonzept entwickelt werden. Dieses Safeguardskonzept für die Anderen Entsorgungstechniken umfaßt die Überwachung des Endlagergutes ab dem Eintreffen am Endlagerbergwerk. Aus der Vielzahl der für dieses Konzept notwendigen Informationen und bereits bekannten technischen Detailprobleme sind die nach Meinung der Autoren für die Anwendung der internationalen Überwachungsmaßnahmen wichtigen Einzelaspekte ausgewählt und in Kap. 2 zusammengestellt worden.

Nach dem Referenzkonzept wird ein Druckwasserreaktor-Standardbrennelement vom Typ Biblis B mit einem Abbrand von 40.000 MWd/tSM bei einer Anfangsanreicherung von 3,6 % zugrundegelegt.

Nach einer Kühlzeit von mindestens 10 Jahren werden die abgebrannten Brennelemente in Transportbehältern mit je 12 Brennelementen einer Konditionierungsanlage zugeführt. Die Konditionierung erfolgt in den zwei Teilschritten Vorkonditionierung und Endkonditionierung. Zur Gewährleistung einer kontinuierlichen Kapazitätsauslastung besitzt die Anlage ein Eingangslager für ca. 20 Transportbehälter.

In der Konditionierungsanlage werden die abgebrannten Brennelemente in Endlagergebinde (ELG) eingeschlossen. Ein ELG besteht aus 3 Behältern: der Trockenlagerbüchse (TLB) als gasdichter Barriere, dem Endlagerbehälter (ELB), der primär nach den Kriterien Korrosionsschutz und Standfestigkeit ausgelegt ist und der verlorenen Abschirmung (VA), die dem Schutz vor Neutronen- und Gammastrahlung bei Handlung und Transport dient.

Der Transport der fertigen ELG von der Konditionierungsanlage zum Endlagerbergwerk erfolgt in speziellen Transportbehältern auf Spezialwaggons der Deutschen Bundesbahn. Für den Transport nach unter Tage werden die ELG in der Umschlagstation des Endlagerbergwerkes aus den Transportbehältern gezogen und einzeln auf Plateauwagen verladen. Zur Aufnahme von ELG bei Störungen im Einlagerungsbetrieb dient ein Eingangspufferlager. Im Normalbetrieb werden die angelieferten ELG direkt nach unter Tage verbracht und dort bestimmungsgemäß eingelagert.

Hinsichtlich der Kernmaterialüberwachung liegen für die direkte Endlagerung noch keine Erfahrungen vor. Unter Proliferationsgesichtspunkten muß ein Endlager für abgebrannte Brennelemente, die strategisches Material enthalten, als ein zunehmend attraktives Ziel für einen potentiellen Abzweiger angesehen werden und erfordert damit eine wirk-

same Safeguardskontrolle, für die aufgrund der besonderen Problematik neue Techniken und Konzeptionen zu entwickeln sind.

Das vorhandene Safeguardskontrollinstrumentarium basiert auf der Materialbuchhaltung und der unabhängigen Materialverifizierung, die beim Endlager, das als Zweck die Isolierung des Materials von der Biosphäre und weiteren Zugriffsmöglichkeiten verfolgt, nicht mehr direkt angewendet werden kann.

Im folgenden wird daher die direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente, eine auch für andere Staaten interessante Möglichkeit, für die Bundesrepublik Deutschland, die im Gegensatz zu anderen Unterzeichnerstaaten des NV-Vertrages nicht über ein nationales Kontrollsystem verfügt, unter Safeguardsgesichtspunkten untersucht. Es wird analysiert, ob und inwieweit unter den für das Endlager gegebenen Randbedingungen vorhandene Safeguardselemente zu einem wirkungsvollen Überwachungskonzept kombiniert werden können oder welche Anpassungen ggf. erforderlich sind.

2 TECHNISCHES REFERENZKONZEPT UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG VON SAFEGUARDS

2.1 Konditionierung des Endlagergutes

2.1.1 Vorkonditionierung

Im Funktionsbereich Vorkonditionierung werden jeweils 3 unzerlegte Brennelemente gasdicht in eine sogenannte Trockenlagerbüchse (TLB) eingeschlossen. Die einzelnen Verfahrensschritte sind dabei auf 3 separate Zellen verteilt, die durch ein an den Zellenöffnungen lüftungstechnisch dicht ankoppelndes TLB-Transportfahrzeug miteinander verbunden sind. Der Verfahrensablauf der Vorkonditionierung stellt sich wie folgt dar:

Die aus dem Eingangspufferlager entnommenen Transportbehälter werden an der Bodenöffnung der Brennelemententladezelle angedockt. Nach der Entnahme der Brennelemente (BE) erfolgen Eingangsprüfung und Abstellen der BE im BE-Pufferlager.

Nach dem Andocken der TLB an der Bodenöffnung der Brennelement-Pufferzelle wird der Deckel der Bodenöffnung geöffnet und die Brennelemente werden in die TLB eingesetzt. Dabei werden die Brennelemente bei der Entnahme aus dem Brennelement-Pufferlager an einem Zellenkran hängend transportiert. Anschließend wird die Bodenluke der Einbüchszelle wieder geschlossen und die beladene TLB zur nächsten Zelle, der Schweißzelle, verfahren.

In der Schweißzelle wird der Verschlußdeckel in die TLB eingesetzt und verschweißt. Für die nachfolgende Dichtheitsprüfung wird Helium eingefüllt und die Füllöffnung verschweißt.

Das Transportfahrzeug verfährt anschließend zur Bodenöffnung der Prüfzelle und wird an der Zellenöffnung angekoppelt. Die Trockenlagerbüchse wird in der Prüfzelle vom Zellenkran übernommen. Das TLB-Transportfahrzeug wird abgekoppelt und verfährt zur Materialschleuse, wo es mit einer leeren Trockenlagerbüchse beladen wird. In der Prüfzelle wird die verschweißte TLB zur Dekontaminationsvorrichtung verfahren und nach einem Wischtest eventuell dekontaminiert. Anschließend wird die TLB in einem Rezipienten einem integralen Helium-Lecktest unterzogen, nach bestandener Prüfung aus der Zelle ausgeschleust und in ein Pufferlager abgestellt.

Die bei der Vorkonditionierung verwendete Trockenlagerbüchse ist zur Aufnahme von drei unzerlegten Brennelementen geeignet. Sie besteht aus einem Rohr, Boden, Deckel und Einbauten. Am Deckel befindet sich eine Vorrichtung zum Anhängen an einen Kran. Die Rohrlänge der TLB beträgt 5,14 m, der Rohrdurchmesser 66,5 cm und die Wandstärke 8 mm.

Als paralleler Ansatz zur vorstehend beschriebenen Vorkonditionierung wird zur Zeit der Behandlungsweg "In Brennstäbe zerlegte Brennelemente" untersucht. Da die für Safeguards im Endlager relevanten Bestandteile des Endlagergebundes sich durch diesen alternativen Behandlungsweg praktisch nicht ändern, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

2.1.2 Endkonditionierung

Die Verfahrensschritte der Endkonditionierung beginnen mit der Übernahme des Trockenlagergebundes (TLG), also der beladenen TLB aus dem

Pufferlager der Vorkonditionierung und enden mit der Abgabe des Endlagergebundes. Zur Übernahme des TLG wird ein leerer ELB auf einer Schienenbahn unter die Ausschleuse der Vorkonditionierung gefahren. Das vom Pufferlager kommende Trockenlagergebunde wird mit der Krananlage in den Endlagerbehälter abgesetzt. Anschließend fährt die Schienenbahn den beladenen ELB unter die Einschleuse der Endkonditionierung.

Hier wird zunächst der Endlagerbehälter mit einer Hubeinrichtung der Schienenbahn angehoben und der Deckel mit dem Zellenkran aufgesetzt und verschraubt. Dann nimmt die Krananlage den ELB auf und setzt ihn in der Schweißstation ab. Eine automatische Schweißanlage bringt in mehreren Lagen die Dichtschweißnaht des zweiten Deckels auf. Es folgen eine Sichtprüfung der Schweißnaht und ein Heliumlecktest auf Flüssigkeitsdichtheit.

Anschließend wird der geprüfte Endlagerbehälter mit dem Zellenkran in die in der Ausschleuse bereitgestellte, verlorene Abschirmung eingesetzt. Diese wird mit einem Schraubdeckel verschlossen. Auf einem Spezialwaggon der Bundesbahn gelangt das Endlagergebunde in einem Typ-B-Transportbehälter zum Endlagerbergwerk.

Der Endlagerbehälter soll den sicheren Einschluß des radioaktiven Materials für einen Zeitraum von etwa 500 Jahren gewährleisten. Bedingt durch die Geometrie der unzerlegten Brennelemente bietet sich ein maximal 6,2 m langes Endlagergebunde an. Dieses hat ein Gewicht von ca. 50 t, seine Auslegung für die Wärmeleistung beträgt 2,4 kW.

Ein Anlagendurchsatz von 700 t Schwermetall erfordert die Konditionierung von 9 Brennelementen pro Tag; der Funktionsbereich Vorkonditionierung wird daher 2-strängig ausgelegt sein. Im Funktionsbereich Endkonditionierung fallen damit pro Tag 2-3 Endlagergebunde an.

2.2 Das Endlagerbergwerk

2.2.1 Vorgaben

Das Endlagerbergwerk wird in einem unverritzten Salzstock errichtet. Das Referenzkonzept sieht die Einlagerung von ELG mit verllorener Abschirmung in Strecken vor. Die Einlagerungsebene soll in einer Teufe von ca. 730 m liegen. Das Bergwerk soll 50 Jahre bei einer Einlagerungsrate von 437 Endlagergebinden pro Jahr betrieben werden. Bei 40 Betriebswochen müssen je Woche an 4 Tagen 2 Endlagergebinde und an 1 Tag 3 Endlagergebinde eingelagert werden, d.h. 11 Endlagergebinde pro Woche. Es ist nur eine Einlagerungsebene vorgesehen. Im Einlagerungsbereich wird von einer Temperatur des Salzes von max. 200 °C ausgegangen, wie beim HAW-Konzept. An der Kontaktfläche Salz-Behälter wird eine Temperatur von 150 °C angestrebt. Die Gebirgstemperatur vor Beginn der Einlagerung beträgt in 730 m Teufe ca. 37 °C.

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Anzahl der Schächte | 2 |
| Innendurchmesser der Schächte | 7,50 m |
| Abstand der Schächte | ca. 400 m |
| Nutzlast Schacht I | 25 t |
| Nutzlast Schacht II | ca. 60 t |

Tabelle 2-1: Schachtdaten

Die Schachtförderanlage für den Einlagerungsbetrieb soll für eine Nutzlast von ca. 60 t ausgelegt werden. Gleichzeitig mit der Einlage-

rung von Brennelementgebinden von der Brennelementkonditionierung erfolgt die Einlagerung des Sekundärabfalls über denselben Schacht, jedoch in einem örtlich getrennten Einlagerungsfeld.

| | |
|---|---|
| Betriebsdauer | 50 a |
| Teufe der Einlagerungsebene | ca. 730 m |
| Einlagerungsrate für BE-Gebinde | 2 bzw. 3 pro Tag |
| Zulässige Temperatur des Salzes im Einlagerungsbereich | max. 200 °C |
| Temperatur an der Kontakt- fläche Salz-Behälter | ca. 150 °C |
| Gebirgstemperatur vor Einlagerungsbeginn | 37 °C |
| Nutzlast der Schachtförder- anlage für Einlagerungsbetrieb | ca. 60 t |
| Endlagergut | abgebrannte LWR-BE, Abfall aus der Konditionierungsanlage, aus Kernkraftwerken, Landessammel- stellen, Forschungseinrichtun- gen etc. |
| Querschnitt der Strecken der Einlagerungssohle | ca. 22 m ² |

Tabelle 2-2: Vorgabedaten für das Endlagerbergwerk

| | |
|--|---|
| Querschnitt der Strecken der Erkundungssohle | 6 m x 4 m mit Wölbung 21 m ² |
| Abstand der Querschläge | 200 m |
| Abstand der Einlagerungssohle von Erkundungssohle | 30 m |
| Abstand der Richtstrecken | 500 m - 1800 m |
| Abmessungen der Einlagerungsfelder | 500 x 200 m ² bis 1800 x 200 m ² |
| Querschnitt der Richtstrecken und Querschläge | 7 m x 4 m mit Wölbung 25 m ² |
| Querschnitt der Einlagerungs- strecken | 5 m x 4 m mit Wölbung 18 m ² |
| Pfeilerdicke vom Ende der Einlagerungs- strecke bis zum nächsten Querschlag | 7 m |
| Steigung der Schrägstrecken | 10 - 12 % |

Tabelle 2-3: Angaben zu Lage und Abmessungen von Strecken und Feldern

2.2.2 Aufschluß des Endlagerbergwerks

Zur endgültigen Beurteilung der Eignung des Salzstockes ist eine untertägige Erkundung durch bergmännischen Aufschluß erforderlich. Der Aufschluß erfolgt nicht konventionell bergmännisch, d.h. es sind vorwiegend keine Sprengungen vorgesehen. Das Bergwerk wird über zwei Schächte von je 7,5 m Durchmesser im Abstand von ca. 400 m erschlossen. Der erste Schacht dient der Salzförderung, dem Materialtransport, der Seilfahrt und den einziehenden Wetter. Die Nutzlast der Förderanlage beträgt ca. 25 t. Der zweite

Schacht mit einer Nutzlast der Förderanlage von ca. 60 t dient dem Einlagerungstransport und den ausziehenden Wetterern.

Die Erkundung im vorgesehenen Einlagerungsbereich erfolgt durch Untersuchungsbohrungen und -strecken. Die Erkundungsstrecken haben einen Querschnitt von 6 m x 4 m ohne Wölbung entsprechend 21 m². Sie stecken grob (bis auf 25 m Abweichung) den Einlagerungsbereich ab und werden später als Wetterstrecken für die Abwetter aus den Einlagerungsfeldern genutzt.

Zwischen den beiden Schächten wird der untertägige Infrastrukturbereich errichtet. Hierzu gehören Füllort, Bunker, Brecher- und Entstaubungsanlagen sowie Werkstätten für Montage und Wartung der untertägig eingesetzten Maschinen, Anlagen und Kraftfahrzeuge. Die geplanten Abmessungen der mechanischen Werkstatt sind in Tabelle 2-4 wiedergegeben. Die Werkstatt ist mit Bühnen ausgestattet. Ein Laufkran mit einer Traglast von 25 t ist vorgesehen.

| Abmessungen des Werkstatttraumes | |
|---|-------------|
| Länge: | 85,0 m |
| Breite: | 15,0 m |
| Höhe: | 6,0 - 8,0 m |
| Traglast des Laufkrans in der Werkstatt max. 25 t | |

Tabelle 2-4: Angaben zur Werkstatt

Nach Beendigung der untertägigen Erkundung wird die Lage der Einlagerungsfelder festgelegt. Die Einlagerungssohle liegt 30 m unter der Erkundungssohle.

Der Einlagerungsbereich wird durch das Auffahren zweier paralleler Richtstrecken bis an die Grenzen des Feldes erschlossen. In Abständen von 200 m werden die Richtstrecken durch Querschläge verbunden. Ausgehend von den Querschlägen werden die Einlagerungsstrecken parallel zu den Richtstrecken aufgefahen. Die Einlagerungsstrecken werden nicht durchschlägig aufgefahen, so daß zwischen Streckenende und nächstem Querschlag ein Pfeiler von 7 m stehenbleibt. Die Richtstrecken und Querschläge haben einen Querschnitt von 25 m^2 , die Einlagerungsstrecken von 18 m^2 . Der Abstand der beiden Richtstrecken hängt von den geologischen Gegebenheiten im Salzstock ab und kann zwischen 500 m und 1800 m betragen. Die einzelnen Einlagerungsfelder haben dementsprechend Abmessungen von 500 m x 200 m bis 1800 m x 200 m. Geplant sind im Endlagergebäude-Einlagerungsfeld 18 Querschläge mit je 50 und 1 Querschlag mit 40 Einlagerungsstrecken. Vor Einlagerungsbeginn werden nur die Einlagerungsstrecken des schachtfernsten Querschlages aufgefahen. Das Auffahren der Einlagerungsstrecken im jeweils nächsten Einlagerungsquerschlag erfolgt zeitlich parallel zur Einlagerung im benachbarten Einlagerungsquerschlag.

Die Anbindung der Einlagerungssohle an den Infrastrukturbereich auf der Erkundungssohle erfolgt in Form von Schrägstrecken als Band- und Förderberge mit einer Steigung von 10 - 12 %.

2.2.3 Der Einlagerungsbetrieb

Die Einlagerung erfolgt im Rückbau, d.h. von den entferntesten Grenzen des Grubengebäudes zu den Schächten hin. Vor Einlagerungsbeginn werden zunächst alle Einlagerungsstrecken im schachtfernsten Feld aufgefahen. Zwischen der ersten Einlagerungsstrecke und der Richtstrecke bleibt ein Pfeiler von 15 m stehen. Die Pfeilerbreite zwischen den Einlagerungsstrecken beträgt 10 m. Nach dem vollständigen Auffahren des ersten Einlagerungsquerschlages beginnt in diesem der Einlagerungsbetrieb. Parallel zur Einlagerung läuft der Streckenvortrieb vom zweiten Querschlag aus.

Der Transport des Endlagergebundes nach unter Tage erfolgt auf einem schienengebundenen Plateauwagen über den für den Einlagerungsbetrieb vorgesehenen Schacht (man vergleiche hierzu das Ablaufschema in Bild 2-1). Der Plateauwagen hat keinen eigenen Antrieb und keine Bremse und muß mit Hilfe einer Lok bewegt werden. Die technischen Spezifikationen sind in Tabelle 2-5 dargestellt.

| | | |
|----------------|-----|--------------------------|
| Länge: | ca. | 6000 mm |
| Breite: | ca. | 2500 mm |
| Masse: | ca. | 8 t |
| Achsfahrmasse: | ca. | 35 t |
| Spurweite: | | 1435 mm (Bundesbahnspur) |

Tabelle 2-5: Daten des Plateauwagens

Der Plateauwagen mit dem Endlagergebinde wird in den Förderkorb der Schachtförderanlage des Einlagerungsschachtes gefahren, gesichert und durch den Schacht zur Einlagerungssohle transportiert. Dort übernimmt eine Lok den Transport und fährt den Plateauwagen auf der ausschließlich für Gebindetransporte vorgesehenen Richtstrecke gleisgebunden zum Einlagerungsquerschlag. Die Spurweite entspricht auch hier den Bundesbahnnormen. Am Schnittpunkt von Querschlag und Strecke übernimmt noch auf der Richtstrecke die Einlagerungsmaschine das Gebinde vom Plateauwagen und transportiert es durch den Einlagerungsquerschlag gleislos in die Einlagerungsstrecke. Nach dem Absetzen des Gebindes am Einlagerungsort fährt die Einlagerungsmaschine zurück zur Richtstrecke, von wo aus inzwischen der Plateauwagen zurück zum Schacht und nach über Tage gefahren wurde. Anschließend wird der Streckenabschnitt mit dem ELG auf einer Länge von 7,5 m mit Salzgrus versetzt. Als Versatzver-

fahren wird der Schleuderversatz oder Blasversatz angewendet. Das Versatzfahrzeug ist ein gleisloses Schiebewandfahrzeug mit aufgebauter Versatzschleuder. Der Einlagerungsablauf ist in Bild 2-1 wiedergegeben.

Das Versatzgut wird vom Vorrichtungsbetrieb oder von einem Bunker über eine Bandanlage auf das Versatzfahrzeug aufgegeben. Zuschlagstoffe in Form von MgO-Beton können beigelegt werden. Das Versatzfahrzeug fährt zum Einlagerungsort und schleudert den zu versetzenden Streckenabschnitt zu. Mit dieser Methode wird ein Verfüllungsgrad der Strecke von 98 % erreicht.

Der Abstand benachbarter Einlagerungsquerschläge beträgt 200 m. Da 7 m als Endpfeiler stehen bleiben und 13 m zur Verdämmung der versetzten Strecke benötigt werden, bleibt eine nutzbare Länge von 180 m zur Einlagerung der Gebinde. Bei einer Gebindelänge von 6,2 m und einem Gebindeabstand von ca. 1 m kann eine Strecke 24 Gebinde aufnehmen.

Sind alle Strecken eines Einlagerungsquerschlaes mit Gebinden belegt und versetzt, werden auch der Einlagerungsquerschlag, die Begleit- und Flankenstrecken sowie die Wetterstrecken (soweit sie nicht mehr benötigt werden) verfüllt und durch Dammbauwerke abgeschlossen. In Tabelle 2-6 sind die wichtigsten Daten eines Einlagerungsfeldes aufgeführt.

Zeitlich parallel zur Einlagerung erfolgt der Aufschluß des in Richtung auf den Schachtbereich bezogen nächsten Bereiches des Einlagerungsfeldes. Die Strecken werden mit einer schneidenden Vortriebsmaschine aufgefahren. Der Abtransport des Haufwerks erfolgt entweder durch direkte Bandaufgabe und Transport über die Bandanlage als Versatzgut zum Einlagerungsort, zu einem Bunkerbereich oder zum Füllort am Schacht I. Alternativ übernimmt ein Schaufelfahrlader das Haufwerk von der Vortriebsmaschine und transportiert es zur Bandaufgabe. Der gesamte Haufwerktransport erfolgt im

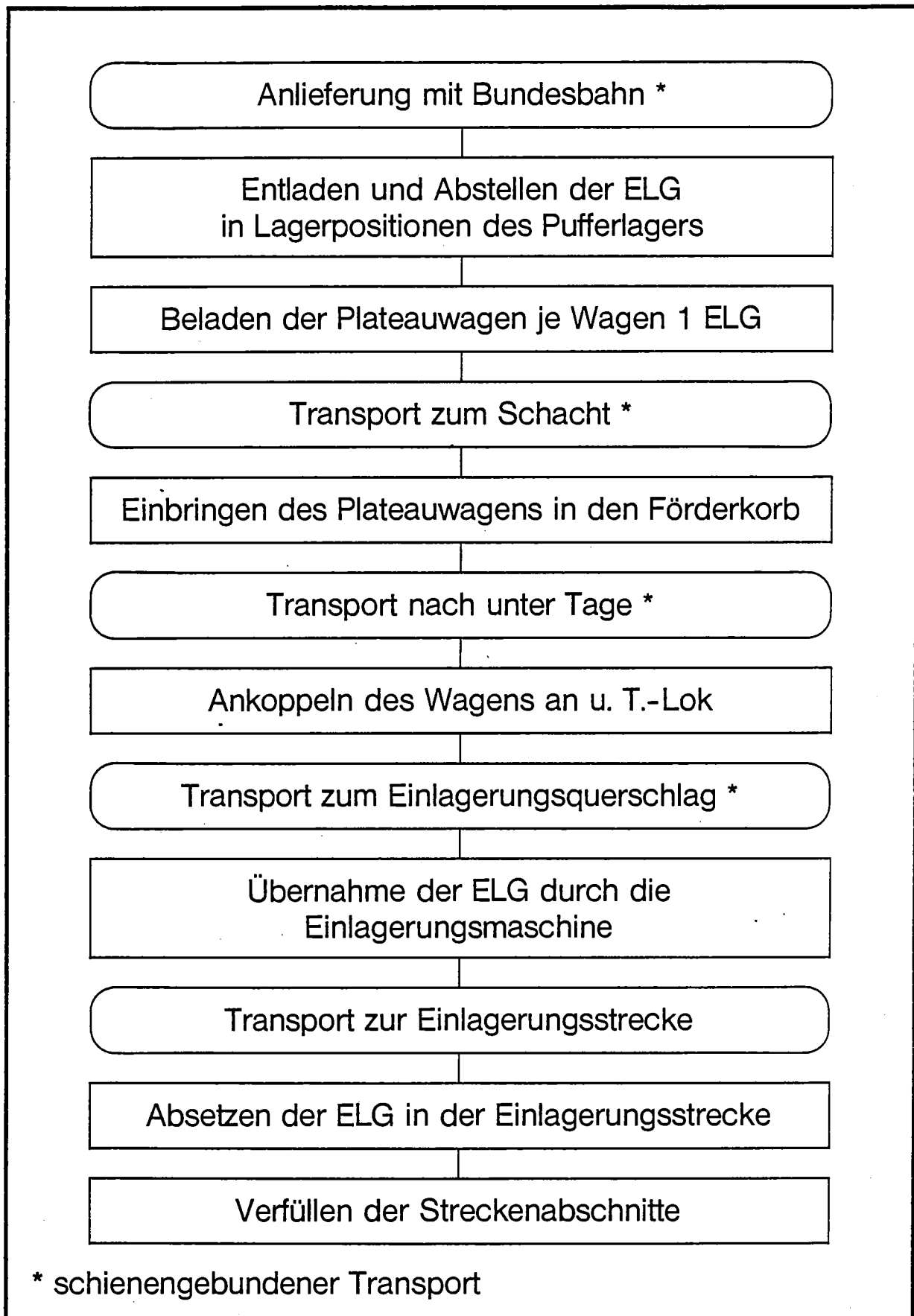


Bild 2 - 1 : Ablaufschema des Einlagerungsvorganges

Einlagerungsbereich gleislos und ausnahmslos durch die Querschläge zur Richtstrecke, die nicht für Einlagerungstransporte benutzt wird. Der maximale Fahrweg des Schaufelfahrladers zur Bandaufgabe beträgt ca. 300 m. Der Bunkerbereich ist maximal 2 km vom Einlagerungsort entfernt an der Richtstrecke.

| | |
|---|---------|
| Pfeilerbreite zwischen Richtstrecke und erster Einlagerungsstrecke | 15 m |
| Pfeilerbreite zwischen den Ein- lagerungsstrecken | 10 m |
| Endpfeiler zwischen Einlagerungs- strecke und nächstem Querschlag | 7 m |
| Länge des Abschlußstopfens einer Einlagerungsstrecke | 13 m |
| Nutzbare Länge der Einlage- rungsstrecke | 180 m |
| Gebindelänge | 6,2 m |
| Abstand zwischen zwei Gebinden | ca. 1 m |
| Anzahl der Gebinde pro Strecke | 24 |

Tabelle 2-6: Abmessungen im Einlagerungsfeld

Nach Abschluß des Einlagerungsbetriebes werden alle Strecken und Hohlräume verfüllt und mit Stopfen und Dämmen verschlossen. Ebenso werden die Schächte verfüllt, wobei die natürlichen geologischen Strukturen weitgehend berücksichtigt werden. Zusätzlich werden Barrieren aus

Beton und Asphalt eingebaut. Obwohl die Schachtwände nicht beseitigt werden, wird eine Wiederverwendbarkeit der Schächte ausgeschlossen.

2.2.4 Maschinen und Fahrzeuge im Bergwerk

Für den bergmännischen Aufschluß und den Versatz der Strecken nach der Einlagerung sind folgende Maschinen und Fahrzeuge im Bergwerk vorhanden:

- Schneidende Vortriebsmaschine
- Schaufelfahrlader
- Schleuderversatzfahrzeug

Diese Maschinen und Fahrzeuge sind teilweise dieselgetrieben oder besitzen elektrische Antriebe und sind gleislos. Als selbstfahrende Fahrzeuge können sie mit einem Fahrtenschreiber ausgerüstet werden, der die zurückgelegte Strecke, Fahrzeit und Geschwindigkeit aufzeichnet. Die schneidende Vortriebsmaschine hat ein Gewicht von ca. 80 t und ließe sich mit Klimakabine ausrüsten. Bei der herrschenden Gebirgstemperatur von 37° C ist dies aber nicht vorgesehen. Der Schaufelfahrlader hat ein Gewicht von ca. 25 - 30 t und ist nicht für den Transport eines Endlagergebindes geeignet. Die hier beschriebenen Maschinen und Fahrzeuge lassen sich sowohl im ELG-Lager als auch im Abfallager einsetzen. Zu den genannten Fahrzeugen kommen sowohl im bergmännischen als auch im Einlagerungsbereich Fahrzeuge für Befahrung, Mannschafts- und Materialtransport, Berauben, Laden und Sonderzwecke zum Einsatz. Für den Einlagerungsbetrieb sind vorgesehen:

- Plateauwagen
- Lok
- Einlagerungsmaschinen

Der Plateauwagen ist gleisgebunden und hat keinen eigenen Antrieb. Er wiegt 8 t und trägt eine Nutzlast von 55 t. Er wird von einer diesel- oder batteriegetriebenen Lok bewegt. Für die Einlagerung von Abfall ist ein weiterer Plateauwagen jedoch mit niedriger Traglast von 25 - 30 t vorhanden.

Die einzige gleislose Maschine, die ein Gebinde aufnehmen und eigenständig transportieren kann, ist die Einlagerungsmaschine. Aus Redundanzgründen sind zwei Einlagerungsmaschinen vorhanden. Ihr Antrieb und die Bremsen sind für einen Gebindetransport über Steigungen und Gefälle bis zu 1 % ausgelegt. Die Einlagerungsmaschinen können kein Gebinde über Schrägstrecken mit einer Steigung von 10 - 12 % transportieren. Die endgültige Bauweise der Einlagerungsmaschinen steht noch nicht fest. Zwei Konzepte stehen in der Diskussion, einmal ein Knicklader mit Gabel, auch unter der Bezeichnung Kiruna-Truck bekannt und alternativ ein Portalhubwagen auf vier Stelzen wie er z.B. zum Containertransport verwendet wird.

2.2.5 Bewetterung des Bergwerks

Die Frischwetter fallen durch den Haufwerkförderschacht bis zur Einlagerungssohle ein und werden über die Richtstrecke den Einlagerungs- und Vorrichtungsbetrieben zugeführt. Die Einlagerungsstrecken werden während der Vorrichtung und Einlagerung über Lutten sonderbewettert. Die Abwetter werden über Wetterrolllöcher an den Enden der Querschläge direkt der ehemaligen Erkundungssohle zugeführt und weiter zum Einlagerungsschacht geleitet, durch den die Abwetter ausziehen. Der Gebindetransport erfolgt auf der Einlagerungsebene ebenfalls im Frischwetterstrom. Eine Abluftüberwachung auf Radioaktivität ist zumindest für den ausziehenden Schacht vorgesehen.

3 NV-ASPEKTE DER DIREKTEN ENDLAGERUNG

3.1 Direkte Endlagerung im Vergleich zur Entsorgung über Wiederaufarbeitung

3.1.1 Konsequenzen eines direkten Endlagers als Modell für Drittländer

Vom Proliferationsaspekt her gesehen gibt es im nuklearen Brennstoffkreislauf zwei Bereiche, die eines besonderen Schutzes bedürfen:

Zum einen handelt es sich dabei um die beiden sensitiven Stufen der Anreicherung und der Wiederaufarbeitung, deren Technologien grundsätzlich zur Separierung von strategischem Kernmaterial benutzt werden können, zum anderen um die Anhäufung von sensitivem Kernmaterial etwa bei der Lagerung von separiertem Plutonium oder auch abgebrannter Brennelemente.

Der Schutz und die Kontrolle sensitiver Technologie ist Gegenstand der Londoner Richtlinien, in denen die einzelnen schutzwürdigen Komponenten detailliert aufgeführt sind. Ein möglicher Mißbrauch der Anlagen selbst wird durch die verschiedenen internationalen Safeguardsabkommen mit der IAEA im Rahmen des NV-Vertrages oder bilateraler Abkommen abgedeckt.

In einem Brennstoffkreislauf mit Wiederaufarbeitung kann z.B. durch Verzögerung des Ausbaus von Kernenergieprogrammen, etwa für Brutreaktoren, eine Anhäufung von abgebranntem Plutonium die Folge sein. Hier sind bereits institutionelle Modelle entwickelt worden, die auf dem Artikel XII A5 des IAEA-Statuts beruhen und ein internationales Plutonium-Lagersystem für überschüssiges separiertes Pluto-

nium vorsehen. Unter anderem ist eine Einlagerung von überschüssigem Plutonium sowie die Reduzierung der Lagerkapazitäten in den Brennelementfabriken für Plutonium-haltige Reaktorbrennstoffe vorgesehen.

Die Anhäufung von Plutonium bei der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen wurde ebenfalls als eine sensitive Stelle im nuklearen Brennstoffkreislauf festgelegt. Hier hat die ISFM-Gruppe, die im Rahmen der IAEA tagt, geeignete Gegenmaßnahmen vorgeschlagen /3-1/.

Als besonders bedenklich im Hinblick auf die Nichtverbreitung von Kernwaffen wurde von verschiedenen Seiten die Anhäufung von Plutonium bei der direkten Endlagerung dargestellt. Man hat in diesem Zusammenhang den Begriff der "Plutoniummine" eingeführt /3-2/. Insbesondere von europäischer und japanischer Seite wurde im Rahmen der internationalen Konferenz zur Bewertung des nuklearen Brennstoffkreislaufes (INFCE) auf die inhärente Proliferationsgefahr bei solchen Endlagern hingewiesen, da grundsätzlich der spätere Zugriff eines Staates zu den sehr großen Mengen an Plutonium, die in einem Bergwerk mit abgebrannten Brennelementen vorhanden wären, nie ausgeschlossen werden kann. Dies ist von besonderer Bedeutung deshalb, weil langfristig aufgrund der abnehmenden Radioaktivität der abgebrannten Brennelemente der Zugriff zum Plutonium erleichtert und damit der strategische Wert des Materials erhöht wird.

Es muß im Zusammenhang mit den großen Mengen eingelagerten Plutoniums und aufgrund der langen Betriebsdauer eines solchen Lagers von ca. 50 Jahren darauf hingewiesen werden, daß eine Aufkündigung oder Beendigung des NV-Vertrages in verschiedenen Ländern nicht ausgeschlossen werden kann. In diesem Fall ist somit dem Staat legal die Möglichkeit gegeben, abgebrannte Brennelemente aus dem direkten Endlager wieder auszugraben und das Plutonium in geeigneter Weise für Kernwaffen zu separieren. Man kann davon ausgehen, daß eine Aufkündigung des NV-

Vertrages durch die Bundesrepublik Deutschland nicht in Betracht zu ziehen ist.

Außerdem ist für eine bestimmte Menge an Kernmaterial aufgrund bilateraler Verträge eine Aufhebung der Anwendung von Safeguards nicht möglich. Vielmehr könnte es aufgrund dieser bilateralen Verträge möglich sein, daß die Vertragspartner langfristig Mitspracherecht bei der Formulierung der Safeguardsanwendung hätten, die unter Umständen zu einer Verschärfung von Safeguards führen würde (prior consent). Aufgrund dieser übergeordneten Proliferationsaspekte scheint es problematisch zu sein, die Einrichtung solcher Lager als Modell für eine weltweite Anwendung zu diskutieren, da auch andere Staaten ohne entsprechende vertragliche Rahmenbedingungen zur Beherrschung der Nonproliferation (Nonproliferation Credentials) in die Lage versetzt würden, langfristig Zugang zu sensitivem Plutonium zu erhalten.

Bei Untersuchung der Frage, inwieweit ein späterer Zugriff zu sensitivem Plutonium durch ein Konzept der Nichtrückholbarkeit erschwert wird, muß generell davon ausgegangen werden, daß es grundsätzlich immer technische Möglichkeiten gibt, mit denen ein eingelagertes Brennelement wieder ans Tageslicht zu holen ist. Die technischen Schwierigkeiten hängen u.a. vom Endlagermedium ab und sie dürften für Salzlagerung größer sein als für andere Medien. Dabei ist zu berücksichtigen, daß nicht alle Länder über dieses Lagermedium verfügen und damit unterschiedliche Proliferationspotentiale in den entsprechenden Ländern entstehen würden. Die außerordentlich großen Mengen an Plutonium würden es erlauben, große Nuklearprogramme für Kernwaffen aufzubauen.

3.1.2 Möglichkeit der Terminierung von Safeguards

Die Kriterien für eine Terminierung von IAEA-Safeguards sind in den Paragraphen 26(C) von INFCIRC/66 und 11 von INFCIRC/153 entsprechend

Art. 11, Verifikationsabkommen (VA) festgelegt: "Upon determination of the Agency that the material has been consumed, diluted in such a way that it is no longer usable for any nuclear activity relevant from the point of view of safeguards, or has become practicably irrecoverable" /3-3, 3-4/.

Für abgebrannte Kernbrennstoffe treffen die Bedingungen des Paragraphen 11 von INFCIRC/153 somit nicht zu. Die INFCE-Working Group 7 stellt hierzu in ihrem Abschlußbericht /3-5/ fest, daß u.a. die Abfälle aus dem LWR-Brennstoffkreislauf (rezykliert und nicht rezykliert) relativ unattraktiv für eine Waffenproduktion sind. Abgereichertes Uran muß entweder angereichert oder bestrahlt und wiederaufgearbeitet werden. Pu-Abfälle sind wegen der großen Verdünnung in Glas oder Zement nur schwer rückgewinnbar. Beide Abfallarten werden nach Auffassung von INFCE wahrscheinlich den IAEA-Kriterien für eine Terminierung von Safeguards entsprechen.

Da die Handhabbarkeit von abgebrannten BE aus dem LWR-Kreislauf ohne Rezyklierung wegen der abklingenden Spaltproduktaktivität zunimmt, ist dies die Abfallart im LWR-Brennstoffkreislauf, die nach INFCE in bezug auf eine Abzweigung die größere Attraktivität besitzt. Im Gegensatz zur leichteren Rückgewinnung des Spaltmaterials durch Wiederaufarbeitung steht die Tatsache, daß in einem Endlager im Salz für überschaubare Zeiträume die Rückholung der Endlagergebinde im Laufe der Zeit wegen der langfristig auftretenden hohen Temperaturen nicht erleichtert wird.

Inwieweit künftige Technologien diese Einschätzung verändern, hängt nicht nur von der Entwicklung der "highly sophisticated" Technologien für die Anreicherung und Rückgewinnung von rezykliertem Kernmaterial ab, sondern auch von den technischen Fortschritten im Bergbau. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt stellt sich im Zusammenhang mit der direkten Endlagerung von abgebrannten Kernbrennstoffen in einer geeigneten geologischen Formation die Frage nach der Langzeitüberwachbarkeit. Die

wesentlichen Aspekte für die Terminierung von Safeguards sowie für die Langzeitüberwachung sind in Tabelle 3-1 aufgezählt.

| Terminierung von Safeguards | Langzeit-Safeguards |
|--|---|
| <p>Nichtrückholbarkeit (nicht ohne weiteres erfüllt)</p> <p>Verdünnungsgrad des spaltbaren Materials</p> <p>Lösung gemäß INFCIRC/153, Paragraph 35 bzw. VA, Art. 35 für solche BE-Typen denkbar, für die Wiederaufarbeitung nicht vorgesehen und nicht lohnend</p> | <p>Neuartiges Problem</p> <p>Kündigung der Mitgliedschaft im NV-Vertrag</p> <p>Laufzeit des NV-Vertrages bis 1995</p> <p>NV-Glaubwürdigkeit</p> <p>Modellcharakter des direkten Endlagers</p> |

Tabelle 3-1: Terminierung von Safeguardsmaßnahmen und Langzeit-Safeguards: wesentliche Aspekte

3.1.3 Überlegungen zu einem Endlager für HAW und abgebrannte Brennelemente

Für bestimmte Sorten von abgebrannten Brennelementen (z.B. AVR, THTR oder besondere Typen von Leichtwasserreaktoren) ist eine Wiederaufarbeitung entweder nicht vorgesehen oder nicht lohnend. Für solche Brennelemente wird deshalb eine direkte Endlagerung notwendig. Hier stellt sich die Frage, ob für solches Kernmaterial eine Terminierung von Safeguards möglich sein kann. Sollten die Mengen an abgebrannten Brennelementen im Verhältnis zum hochaktiven Waste, der ebenfalls in

das Endlager eingebracht würde, klein sein, so könnte - obschon die Bedingungen des Paragraphen 11 nicht erfüllt sind - Paragraph 35 von INFCIRC/153 bzw. Art. 35 VA zur Wirkung kommen, wo es heißt:

"..... Where the conditions of that paragraph are not met, but the State considers that the recovery of safeguarded nuclear material from residues is not for the time being practicable or desirable the Agency and the State shall consult on the appropriate safeguards measures to be applied. It should further be provided that safeguards shall terminate on nuclear material subject to safeguards under the Agreement under the conditions set forth in paragraph 13 above, provided that the State and the Agency agree that such nuclear material is practicably irrecoverable."

Eine Terminierung von Safeguards ist also hier nicht grundsätzlich ausgeschlossen, eine Anwendung von vereinfachten Safeguards in jedem Falle denkbar.

3.1.4 Extrapolation der IAEA-Diskussionen für sensitive Anlagen auf ein direktes Endlager

Die jüngsten Diskussionen bei der IAEA im Zusammenhang mit der Implementierung von Safeguardskonzepten für sensitive Anlagen der Wiederaufarbeitung und der Anreicherung haben gezeigt, daß Konzepte mit intensivem Einsatz von Containment/Surveillance-Systemen nicht akzeptabel sind /3-6/. Da für ein direktes Endlager gerade diese Konzeption mit intensiver C/S-Berücksichtigung von wesentlicher Bedeutung sein könnte, ist hier ein Konflikt zu erwarten. Die IAEA müßte erhebliche Abstriche und Umdenken in ihrer bisherigen Überwachungsphilosophie vornehmen, sollte dieses Problem gelöst werden. Es sei hier nur auf einige Problemkreise hingewiesen, wie z.B. Verifizierung des Designs, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von Instrumenten, Verifizierung des

Kernmaterialinventars bei Ausfall dieser Instrumentierung, interne Abzweigung und ähnliches.

Trotz all dieser Schwierigkeiten muß festgestellt werden, daß nach dem Überwachungsabkommen, z.B. INFCIRC 153, jegliche kerntechnische Einrichtung wie auch ein direktes Endlager für abgebrannte Brennelemente grundsätzlich international überwachbar sein müßte. Allerdings müssen dann bei den Anforderungen der "Effektivität", wie sei derzeit bei der IAEA diskutiert werden, für ein solches Überwachungskonzept erhebliche Abstriche vorgenommen werden.

3.2 Ergebnisse der NV-Diskussionen in INFCE

Da in INFCE etwa 60 Nationen und verschiedene internationale Organisationen so auch die IAEA beteiligt waren, sind die Ergebnisse und Überlegungen dieser Konferenz für die weitere Betrachtungsweise von besonderer Bedeutung. Dies gilt insbesondere deshalb, weil in INFCE zahlreiche frühere Diskussionen zusammengefaßt und vertieft wurden. So hat sich INFCE Gruppe 7 "WASTE MANAGEMENT AND DISPOSAL" u.a. mit der Problematik von Safeguards in Endlagern für abgebrannte Brennelemente befaßt, die im folgenden schwerpunktmäßig wiedergegeben wird.

Vom Safeguards-Standpunkt sind nur solche Abfälle von Bedeutung, die U-235, U-233 und Plutonium enthalten. Andere Transurane wie Neptunium und Americium könnten in Zukunft ebenfalls Bedeutung erlangen. Je nach ihrem Gehalt an Kernmaterial werden in den INFCE-Überlegungen die folgenden Waste-Kategorien unterschieden:

- (I) Waste in Form von abgereichertem Uran, Natururan oder niedrig angereichertem Uran (< 20% U-235), sogenannter Non-HEU-Waste.

- (II) Hochaktiver Waste, der Plutonium (bzw. U-233 im Thorium-Zyklus) und U-235 enthält.
- (III) Waste mit geringem Gehalt an Plutonium und geringem Gehalt an hochangereichertem Uran, sogenannter HEU-Waste.

Abgebrannte LWR-Brennelemente fallen somit unter Waste-Kategorie (II). Der Fluß des Kernmaterials im Brennstoffkreislauf läßt sich vom Safeguards-Gesichtspunkt mit Hilfe des Begriffs der "signifikanten Menge" quantifizieren. Im Falle von Uran-Waste der Kategorie (I) beträgt die signifikante Menge 75 kg U-235. Im Falle von Plutonium und HEU-Waste sind die signifikanten Mengen 8 kg für Plutonium und U-233 bzw. 25 kg für U-235 ($\geq 20\%$). Diese Werte entsprechen auch den Leitlinien für Zielmengen, die von der IAEA vorgeschlagen sind. Trägt man schließlich noch der Tatsache Rechnung, daß der Waste i.a. nicht als ein offener Strom, sondern in Behältern verpackt vorliegt, so ist zur Charakterisierung der Begriff des "target batch" sinnvoll. Hierunter versteht man diejenige Zahl von Abfall-Behältern, die zusammen eine signifikante Menge an Kernmaterial enthalten. Im Fall von LWR-Brennstoff bilden 2 abgebrannte Brennelemente ein target batch.

Von den zu betrachtenden Abfall-Kategorien stellt der abgebrannte Brennstoff aus dem Leichtwasserreaktor-once-through-Zyklus das attraktivste Ziel für eine Abzweigung von Kernmaterial dar: Anfänglich übt die hohe Radioaktivität der Spaltprodukte einen Selbstschutz des Brennstoffs aus, der die Handhabung des Materials erschwert. Zur Abtrennung der Spaltprodukte und Aktiniden sowie zur Trennung von Uran und Plutonium bedarf es zudem einer Wiederaufarbeitungs-Technologie. Nach entsprechend langer Lagerzeit nimmt jedoch die Radioaktivität deutlich ab und der Zugang zum Plutonium wird nach erfolgter Rückholung einfacher. Befinden sich die abgebrannten Brennelemente zu diesem Zeitpunkt jedoch in geeigneten Behältern eingeschlossen in einem Endlager im tiefen geologischen Untergrund bei einer Salztempe-

ratur von 120 °C, so ist die Rückholbarkeit und damit der Zugang zum Plutonium erschwert.

Die übrigen Abfall-Arten der Kategorie (II) sowie die Abfälle der Kategorien (I) und (III) stellen nach Ansicht von INFCE unattraktive Ziele für eine Abzweigung dar. Safeguards-Maßnahmen für abgebrannte Kernbrennstoffe in einem Endlager bestehen aus Buchführung und Verifikation vom Zeitpunkt des Entladens aus dem Reaktor bis zur Einbringung in den Salzstock oder eine andere geologische Formation. Die Beobachtung von Auf-und Ablade-Aktivitäten durch Inspektoren und/oder Fernseheinheiten ist Stand der gegenwärtigen IAEA-Maßnahmen. Die automatische Überwachung von Brennstoffbewegungen in einem Lager ist ebenso in der Entwicklung wie zerstörungsfreie Techniken (NDA) zur Bestimmung des Brennstoffabbrands bzw. Plutoniumgehaltes.

Alle Vorgänge von der Lagerung des abgebrannten Brennstoffs bis zur Einbringung ins untertägige Endlager sind von Safeguards-Relevanz. Nach den INFCE-Diskussionen sind hierbei die folgenden Anforderungen zu stellen:

- (1) Beobachtung der Endlager-Behälter-Beladung, wobei die Item-Zählung der Brennelemente in eine Item-Zählung der Endlagergebinde übergeht. Ein verfälschungssicheres Siegel am ELG könnte Versuche, die Integrität des Gebindes zu verletzen, aufdecken;
- (2) Zählung der Brennelemente bzw. Endlagergebinde vor und nach jedem Transportschritt;
- (3) Containment/Surveillance und Verifikation der ELG vom Empfang des Gebindes bis zum Absetzen im Endlager;
- (4) Containment/Surveillance um sicherzustellen, daß keine Material-Rücktransporte erfolgen (eventuell unterstützt durch Monitore, die Bewegungen des radioaktiven Materials detektieren);

- (5) Inspektionen zur Verifizierung des Anlagen-Designs, um die Existenz von verborgenen Transportwegen, Lagern oder Ausrüstungen auszuschließen.

Bezüglich der Safeguards-Maßnahmen bei einem direkten Endlager lassen sich drei Phasen unterscheiden:

Während der ersten oder aktiven Phase des Endlagerbergwerks werden Item-Zählung, Inventarverifikation und Surveillance angewendet.

Die zweite oder passive Phase beginnt, wenn einzelne Bereiche des Bergwerks nach der Einbringung der Endlagergebinde wieder verfüllt werden. Da während dieser Phase die Rückführung von Waste durch die Verfüllung und die damit verbundene Vergrößerung des Containments zunehmend schwieriger wird, würde in Absprache zwischen IAEA und Betreiber eine Verlagerung der Safeguards-Aktivitäten von der Item-Zählung zu Containment/Surveillance erfolgen.

Die dritte oder Nachbetriebsphase beginnt mit der Schließung des Endlagerbergwerkes. Durch Surveillance-Maßnahmen und periodische Inspektionen des betreffenden Gebietes muß sichergestellt werden, daß keine Rückholungsversuche unternommen werden.

Nach der Deaktivierung des Endlagers wird der Grad der Safeguardsmaßnahmen nach dem Abschlußbericht der INFCE-Arbeitsgruppe 7, Seiten 101 und 102 vermindert werden können, und zwar aus den folgenden Gründen: Angenommen es besteht der Anreiz, Kernmaterial aus dem stillgelegten Endlager zurückzuholen. Würde man einen merklichen Teil des eingelagerten Kernbrennstoffs rückholen, so käme dies praktisch einer Reaktivierung des Endlagerbergwerkes gleich, verbunden mit einem großen Aufwand: Bohrungen, Schachtkonstruktion, Bewetterung, Abraumtransport, Behältertransporte usw. In diesem Fall würde es 12-18 Monate dauern,

bis der Kernmaterialfluß aus dem Endlager beginnt. Ein solches Unternehmen wäre somit leicht zu beobachten. Andererseits zeigten Analysen, daß die Rückholung von einigen wenigen Endlagerbehältern innerhalb kurzer Zeit (8-10 Wochen) möglich ist. Da aber auch für dieses Unternehmen, dessen Kosten überschlägig 25 Millionen \$ betragen, mehrere große Bohranlagen benötigt werden, wäre es kaum zu verbergen. Dies ist jedoch nicht direkt auf das Referenzkonzept übertragbar, da die in dem INFCE-Bericht zitierte Analyse für einen Endlagerbehälter von 35 cm Durchmesser durchgeführt wurde. Für eine signifikante Menge Kernmaterial benötigt man darüber hinaus mehrere dieser Behälter.

Langfristig wird nach INFCE (Abschlußbericht Gruppe 7, Seite 101) die Effektivität der Safeguards-Maßnahmen in Frage gestellt, da die sich über Jahrhunderte hinziehende Nachbetriebsphase von zahlreichen, kaum überschaubaren Faktoren bestimmt wird, wie etwa:

- Änderungen in der institutionellen und sozialen Ordnung,
- großes Inventar an spaltbarem Material in Lagern für abgebrannte BE
- Abnahme der Radioaktivität und damit bessere Rückgewinnungsmöglichkeiten des spaltbaren Materials,
- Entwicklung von neuen technischen Safeguardsmaßnahmen (d.h. Verfahren und Ausrüstung),
- mögliche technologische Entwicklungen, welche die Rückgewinnung stärker verdünnter Abfälle beschleunigen,
- Grad der Integrität von Behältern mit abgebrannten BE im stillgelegten geologischen Endlager und Rückgewinnungsmöglichkeiten,
- spätere Anreize zur Rückgewinnung des spaltbaren Materials aus abgebranntem Brennstoff für Zwecke der Energieerzeugung.

Über die meisten dieser Faktoren lassen sich keine detaillierten Voraussagen machen. Daher ist eine Entscheidung über die Möglichkeit der Überwachung eines direkten Endlagers in der Nachbetriebsphase oder die Terminierung von Safeguards aus heutiger Sicht nicht möglich.

4 ANWENDUNG VON IAEA-SAFEGUARDS-REGULATIONS AUF DAS REFERENZKONZEPT

4.1 Politische und technische Randbedingungen

4.1.1 Gesetzliche Grundlagen der Überwachung

In der Bundesrepublik Deutschland werden die Aufgaben der internationalen Kernmaterialüberwachung - bedingt durch die Bindung an die Europäische Atomgemeinschaft und den Atomwaffensperrvertrag (NV-Vertrag) - durch zwei Institutionen wahrgenommen:

- die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM) und
- die internationale Atomenergieorganisation (IAEO)

4.1.1.1 Der EURATOM-Vertrag

Zweck des Vertrages zur Gründung der Europäischen Atomgemeinschaft ist ein gemeinsamer Markt auf dem friedlichen Kernenergiesektor, wobei die gleichrangige gesicherte Versorgung mit Erzen und Kernbrennstoffen, die Förderung der Forschung und die Nichtverbreitung von Kernwaffen die Hauptaspekte bilden. Für die direkte Endlagerung lassen sich aus dem EURATOM-Vertrag /4-1/ folgende Randbedingungen ableiten:

- Das Material in den Endlagergebinden ist besonderer spaltbarer Stoff und Eigentum der Europäischen Atomgemeinschaft.
- Die Kommission der Gemeinschaft ist verpflichtet, das Material zu kontrollieren, mit dem Ziel: sich zu vergewissern, daß es zu keinen anderen als von den Benutzern angegebenen Zwecken verwendet wird.
- Die Inspektoren der Kommissison haben jederzeit Zugang zu allen Orten, Unterlagen und Personen, die in einem Zusammenhang mit der Verwendung oder Lagerung von Kernmaterial stehen.

- Eine rein nationale Lösung der Frage der direkten Endlagerung abgebrannter Brennelemente läßt sich aus den nachfolgend im einzelnen zitierten Artikeln des EURATOM-Vertrages nicht ableiten.

Ziele und Verfahren der Kernmaterialüberwachung durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften sind im Kapitel VII des EURATOM-Vertrages näher ausgeführt. Die Überwachung baut demnach auf einer Kernmaterialbuchhaltung, Meldungen an EURATOM und den ungehinderten Zugang von Inspektoren EURATOMs zu allen kerntechnischen Anlagen auf.

Dem Betreiber einer kerntechnischen Anlage obliegt nach Art. 79 die Pflicht, Aufzeichnungen über Betriebsvorgänge bei der Verwendung oder Erzeugung der überwachungspflichtigen Stoffe zu führen und vorzulegen, die eine Buchführung über diese Stoffe ermöglichen. Dies gilt auch für die Beförderung dieser Stoffe. Wer eine kerntechnische Anlage errichtet oder betreibt, hat der Kommission Mitteilung über das Anlagensign zu machen, soweit dies für die Erfüllung ihrer Aufgaben erforderlich ist (Art.78). Die Aufgaben der Kommission ergeben sich u.a. aus Art. 77. Danach hat sie durch geeignete Überwachung zu gewährleisten:

- daß die Kernstoffe nicht anderen als den vorgesehenen Zwecken zugeführt werden; und
- daß die Vorschriften über die Versorgung und alle besonderen Kontrollverpflichtungen (prior consent), welche die Gemeinschaft übernommen hat, eingehalten werden.

Die Überwachung umfaßt Erze, Ausgangsstoffe und besondere spaltbare Stoffe. Nach Artikel 81 haben die Inspektoren der Kommission jederzeit zu allen Orten, Unterlagen und Personen Zugang, die sich von berufswegen mit Stoffen, Ausrüstungsgegenständen oder Anlagen beschäftigen, welche der Überwachung unterliegen.

Artikel 86 besagt:

Die besonderen spaltbaren Stoffe sind Eigentum der Gemeinschaft. Das Eigentumsrecht der Gemeinschaft umfaßt alle besonderen spaltbaren Stoffe, die von einem Mitgliedsstaat, einer Person oder einem Unternehmen erzeugt oder eingeführt werden und der Sicherheitsüberwachung unterliegen.

Während im Kapitel VIII (Art. 86) das Eigentumsrecht der Gemeinschaft an allen besonderen spaltbaren Stoffen festgeschrieben ist, regelt Kapitel VI die Versorgung der Mitgliedsstaaten mit Erzen, Ausgangsstoffen und besonderen spaltbaren Stoffen:

- Um eine gemeinsame Versorgungspolitik nach dem Grundsatz des gleichen Zugangs zu den Versorgungsquellen zu gewährleisten, wurde eine Agentur geschaffen, die über ein Bezugsrecht für die o.g. Stoffe, die im Gebiet der Mitgliedsstaaten erzeugt werden, verfügt. Ihr steht das ausschließliche Recht zu, Verträge über die Lieferung dieser Stoffe aus Ländern innerhalb und außerhalb der Gemeinschaft abzuschließen. (Art. 52).
- Das Bezugsrecht der EURATOM-Versorgungsagentur erstreckt sich nach Art. 57 auf den Erwerb
 - a) der Nutzungs- und Verbrauchsrechte an den besonderen spaltbaren Stoffen und
 - b) des Eigentumsrechtes in allen anderen Fällen.
- Die Agentur übt nach Art. 62, Absatz 1 ihr Bezugsrecht auf die in den Mitgliedsstaaten erzeugten besonderen spaltbaren Stoffe aus um:
 - a) die Nachfrage der Verbraucher zu decken,
 - b) diese Stoffe selbst zu lagern oder
 - c) sie auszuführen.

In Art. 62, Abs.2 wird die Möglichkeit eingeräumt, diese Stoffe und die zur Aufarbeitung geeigneten Rückstände dem Erzeuger zu belassen,

um sie mit Genehmigung der Agentur u.a. zu lagern. Ferner sei hier auf den Art. 80 des Kapitels VII (Sicherheitsüberwachung) hingewiesen, wonach die Kommission eine Hinterlegung aller überschüssigen besonderen spaltbaren Stoffe bei der Agentur oder in anderen, der Überwachung unterliegenden, Lagern verlangen kann.

4.1.1.2 Auswirkungen des NV-Vertrages

Um den Verpflichtungen des Nichtverbreitungsvertrages nachzukommen, schlossen die Nichtkernwaffenstaaten der Atomgemeinschaft mit der IAEA und EURATOM 1973 ein Übereinkommen (Verifikationsabkommen). Dieses Übereinkommen (VA) entspricht im wesentlichen dem IAEA-Musterabkommen INFCIRC/153. Für die Kernwaffenstaaten der Gemeinschaft ist durch entsprechende Übereinkommen ebenfalls die Basis für eine Kontrolle auf dem friedlichen Kernenergiesektor geschaffen worden.

Dem Verifikationsabkommen sind ergänzende Abmachungen beigefügt, in denen u.a. die Inspektionstätigkeiten und -aufwände modellhaft festgelegt werden. Das Verifikationsabkommen und die ergänzenden Abmachungen sind dem Charakter nach Verträge, die zwischen den Staaten, der EURATOM und der IAEA getroffen wurden und in denen EURATOM und ihre Mitgliedsstaaten Verpflichtungen gegenüber der IAEA übernommen haben. Um diesen Verpflichtungen nachkommen zu können, paßte die EURATOM ihr Überwachungssystem an die neuen Anforderungen an. Dies geschah durch die Verordnung Nr. 3227/76 /4-2/, die die alten Verordnungen Nr.7 und Nr.8 ersetzt.

Bestandteil der Ergänzenden Abmachungen sind die anlagenspezifischen Anhänge, die von EURATOM und der IAEA für jede Kernanlage separat erarbeitet werden. Diese Facility Attachments (FA) sind die Grundlage für die von EURATOM für jede Anlage festgelegten besonderen Kontrollbestimmungen.

4.1.1.3 Die Überwachung durch IAEA und EURATOM

EURATOM führt Sicherungsmaßnahmen in den Kernanlagen der Gemeinschaft nach dem EURATOM-Vertrag und der EURATOM-Verordnung Nr. 3227/76 durch. Die Kontrollen der IAEA beruhen auf dem NV-Vertrag und dem Verifikationsabkommen. Die Details der Durchführung sind in den Ergänzenden Abmachungen und den Anlagenspezifischen Anhängen (FA) festgelegt. Die Besonderen Kontrollbestimmungen von EURATOM übertragen die Kontrollmaßnahmen aus dem FA auf die EURATOM-Ebene, soweit diese Maßnahmen nicht schon durch die EURATOM-Verordnung festgelegt sind.

EURATOM und IAEA arbeiten zum Zwecke der Entdeckung evtl. Abzweigungen von Kernmaterial für Kernsprengkörper zusammen. Zu diesem Zweck

- teilt EURATOM bei der Erörterung der FA der IAEA die von den Anlagenbetreibern mit Ausnahme der schutzbedürftigen Teile übermittelten Anlagendaten mit,
- übermittelt EURATOM in abgewandelter Form der IAEA die Berichte über das Kernmaterial, die sie von den Betreibern der Kernanlagen erhält,
- erhält die IAEA das Recht zur Beobachtung eines Teils der Inspektionen EURATOMs.

Die IAEA verifiziert die Ergebnisse der EURATOM-Überwachung, soweit diese auf der Grundlage des Verifikationsabkommens und der FA erfolgt. Für die Verifikationstätigkeit der IAEA gelten folgende Grundsätze (siehe auch Tabelle 4-1):

1. Der im NV-Vertrag gebrauchte Begriff der Verhinderung einer Abzweigung beschränkt sich auf die rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung und die Abschreckung davor.

2. Beschränkung der Sicherungsmaßnahmen auf nukleares Material d.h., keine Überwachung der Anlagen selbst.
3. Grundsatz der Anwendung der Sicherungsmaßnahmen nur an bestimmten strategischen Punkten des Spaltstoffflusses.
4. Beschränkung der IAE0 auf die Verifikation der Ergebnisse des EURATOM-Kontrollsystems.
5. Anwendung der Sicherungsmaßnahmen in einer Weise, die die wirtschaftliche und technische Entwicklung in einem Staat oder in der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergie nicht behindert.
6. In bestimmten, von der IAE0 begründeten Fällen, erhält sie das Recht, eigene unabhängige Sonderinspektionen vorzunehmen.

Verhinderung einer Abzweigung durch Abschreckungseffekt (rechtzeitige Entdeckung)

Kernmaterial-Überwachung (nicht: Anlagenüberwachung) durch Messungen sowie Containment/Surveillance

Prinzip der strategischen Punkte

Verifikation der EURATOM-Ergebnisse (Berichte)

Nichtbehinderung der friedlichen Nutzung der Kernenergie

Recht auf unabhängige eigene Inspektionen

Tabelle 4-1: Prinzip der IAE0-Überwachung nach dem Verifikationsabkommen

4.1.2 Randbedingungen für die Durchführung der Überwachung

Auf der Basis der oben aufgeführten Grundsätze ergeben sich folgende Problemstellungen als Randbedingungen für die Entwicklung des Überwachungskonzeptes:

4.1.2.1 Durch EURATOM

1. Klärung der Frage, inwieweit das unbeschränkte Nutzungs- und Verbrauchsrecht eines Mitgliedsstaates, das er aufgrund von Besitzrechten über Kernmaterial ausübt (Art. 87), durch die Eigentumsrechte der Gemeinschaft eingeschränkt wird. Hier muß davon ausgegangen werden, daß bei einer als nicht rückholbar konzipierten Endlagerung diese Verfügungsentscheidung als irreversibel angesehen werden muß und daher zumindest der Zustimmung der Gemeinschaft als Materialeigentümer bedarf. Dabei sind verschiedene Modelle denkbar, in denen sich Eigentümer und Besitzer die Verantwortung und Durchführung der Endlagerung teilen, z. B.:
 - Die Gemeinschaft erklärt, daß sie sich durch die nichtrückholbare Endlagerung des Materials in ihren Eigentumsrechten nicht beeinträchtigt sieht und überläßt Verantwortung und Durchführung der Endlagerung dem Mitgliedsstaat.
 - Der Mitgliedsstaat führt die nationale Endlagerung im Auftrag der Gemeinschaft durch, wobei mit Auflagen der Gemeinschaft zu rechnen ist.
 - Die Endlagerung wird als multinationale Unternehmung durch die Gemeinschaft selbst vorgenommen, wobei der Mitgliedsstaat Territorium und Infrastruktur zur Verfügung stellt (vergl. hierzu Art. 80, Hinterlegung).

Variante 1 unterschätzt die langfristigen Proliferationsaspekte eines direkten Endlagers. Das Interesse der Gemeinschaft konzentriert sich in diesem Fall nicht auf die Eigentumsrechte, sondern auf wirksame Sicherungsmaßnahmen.

Variante 2 kommt dem Interesse der Bundesrepublik Deutschland am nächsten. Eigentums- und Sicherungsvorbehalt der Gemeinschaft sind gewährleistet und international nachprüfbar. Ein nationales Endlager ist auch unter Akzeptanzgesichtspunkten vorteilhafter als

Variante 3. Sie enthält die Möglichkeit der Endlagerung fremden Endlagergutes aus EURATOM-Staaten und damit wesentliche Akzeptanzprobleme. Angesichts der geographischen und politischen Situation der Bundesrepublik Deutschland kann die Variante 3 nicht wünschbar sein.

2. Die Forderungen von EURATOM hinsichtlich der Kernmaterialbuchführung und des Berichtssystems stimmen weitgehend mit den Forderungen der IAEA überein.
3. Hinsichtlich der Regelungen für die Inspektionstätigkeiten sind die Inspektionsrechte EURATOMS im EURATOM-Vertrag Art. 81 umfassend geregelt.

4.1.2.2 Durch IAEA

Die Sachlage bei der Überwachung durch die IAEA ist wesentlich differenzierter zu betrachten. Auf der Basis des Verifikationsabkommens sind folgende Probleme zu diskutieren und zu klären:

1. Quantifizierung von Rechtzeitigkeit der Entdeckung und Signifikanz von Kernmaterialmengen.
2. Festlegung der strategischen Punkte mit Klärung der Zugangsrechte für IAEA-Inspektoren.
3. Klärung der Frage, inwieweit die IAEA eine von EURATOM unabhängige Überwachung durchführen kann.
4. Klärung der Frage, inwiefern die Überwachung bei Nachweis der Nichtrückholbarkeit des Materials beendet werden kann.

Diese Punkte werden zum Teil endgültig erst in den Anlagenspezifischen Anhängen festgelegt, müssen jedoch im Safeguardskonzept der Anlage berücksichtigt werden.

Zu 1: Quantifizierung von Rechtzeitigkeit der Entdeckung und Signifikanz von Kernmaterialmengen.

Die Entdeckungsziele der IAEA werden durch folgende zu quantifizierende Parameter beschrieben:

- signifikante Menge
- Rechtzeitigkeit der Entdeckung
- Entdeckungswahrscheinlichkeit für eine Abzweigung
- Fehlalarmwahrscheinlichkeit

Die Quantifizierung dieser Größen sowie das Gesamtinventar und seine strategische Bedeutung dienen der IAEA als Voraussetzung für die Entwicklung ihres Safeguardsmodells für die zu überwachende Anlage. Bei der Implementierung des Modells für eine konkrete Anlage werden aus diesen Entdeckungszielen die für die jeweilige Anlage angestrebten Inspektionsziele abgeleitet.

Die Entdeckungsziele werden sehr stark von Art und Zusammensetzung des zu überwachenden Materials beeinflusst. Legt man als Endlagergut LWR-Brennelemente vom Typ Biblis zugrunde, so ergeben sich für bestrahlte BE die in Tabelle 4-2 aufgelisteten Daten.

| | BE | ELG | Endlager Jahreszu- wachs | Endlager Ge- samtinventar nach 50 Jahren |
|---------------|---------|---------|--------------------------------|--|
| Spaltstoffe | | | | |
| U-235 | 4,1 kg | 12,3 kg | 5,4 t | 268 t |
| Pu-239 | 3,1 kg | 9,3 kg | 4,0 t | 201 t |
| Pu-241 | 0,4 kg | 1,2 kg | 0,6 t | 11 t |
| Summe | 7,6 kg | 22,8 kg | 10,0 t | 480 t |
| Uran | 506 kg | 1518 kg | 663 t | 33.140 t |
| Plutonium | 5,3 kg | 15,9 kg | 7,0 t | > 212 t |
| Spaltprodukte | 22,0 kg | 66 kg | 28,8 t | |

Tabelle 4-2: Endlagerinventar an abgebrannten BE /4-3/

Die von der IAEA derzeit als Leitlinien für signifikante Mengen (SQ) angesetzten Größen sind für Plutonium 8 kg und für niedrig angereichertes Uran 75 kg U-235; das bedeutet, in jedem Endlagergebinde ist mehr als die signifikante Menge Plutonium enthalten.

Von der IAEA werden Bulk Handling Facilities (BHF) nach einem Nuclear Material Index (NMI) klassifiziert. Dieser basiert auf dem Anlagendurchsatz bzw. dem Anlageninventar ausgedrückt in

gewichteten signifikanten Mengen (WSQ). Die Inspektions- und Verifizierungsaktivitäten der IAEA konzentrieren sich auf Anlagen mit hohem Nuclear Material Index. Im Safeguards Implementation Report (SIR) für 1981 werden für die überwachten BHF's zur Kennzeichnung der Streubreite u.a. folgende statistische Maximalwerte angegeben:

- max. Plutonium Inventar (in signifikanten Mengen) 137
- max. Plutonium Jahresdurchsatz (in signifikanten Mengen) 167

Für das direkte Endlager würden diese Werte bereits im ersten Betriebsjahr erheblich überschritten, wie aus der folgenden Zusammenstellung der signifikanten Mengen zu ersehen ist:

| Pu | U | |
|---------|------|--|
| 2 | 0,16 | Endlagergebinde |
| 875 | 71 | Endlager-Jahreszuwachs |
| > 26500 | 3573 | Endlager-Gesamtinventar nach 50 Jahren |

Schon allein von der Menge des zu überwachenden Materials her stellt das Endlager eine neue Dimension für zu überwachende Anlagen dar.

Für die Entdeckungszeit wird von der IAEA kein fester Wert angegeben. Bei Lagern für abgebrannte Brennelemente in LWR Anlagen, die die gleichen Brennelemente enthalten, wird ein Rechtzeitigkeitsziel von drei Monaten angestrebt. Dieser Wert müßte daher für das Endlager übernommen werden können.

Hinsichtlich der Entdeckungswahrscheinlichkeit wird normalerweise ein Wert zwischen 90 und 95 % angestrebt, wobei die Fehlalarmwahrscheinlichkeit zu kleiner/gleich 5% angenommen wird.

Eine Fehlalarmwahrscheinlichkeit von ca. 5% ist jedoch für das Endlager nicht akzeptabel. Sie würde rechnerisch bei einer Überwachungsperiode von drei Monaten und einer Betriebszeit des Lagers von 50 Jahren den Wert von 10 Fehlalarmen während der Betriebszeit ergeben. Für das Endlager muß davon ausgegangen werden, daß die Klärung eines Fehlalarms, d.h. das Wiederauffahren bereits verfallter Strecken nicht oder nur mit unvertretbar hohem Aufwand möglich ist. Die Tatsache, daß das Material nicht mehr bzw. nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand einer direkten Verifizierung zugänglich ist, erfordert für die Anlage ein Safeguardssystem, das

- a) ausfallsicher und
- b) fehlalarmsicher ist.

Dies kann voraussichtlich nur durch eine entsprechende Redundanz der Sicherungsmaßnahmen erreicht werden.

Andere Materialien, die für eine direkte Endlagerung in Betracht kommen könnten sind z.B. die Brennelemente aus Thorium-Hochtemperaturreaktoren. Eine Wiederaufarbeitung für diese Brennelemente ist derzeit nicht vorgesehen bzw. nicht lohnend. Für die Lagerung dieser Brennelemente werden zur Zeit Referenzkonzepte entwickelt.

Zu 2: Festlegung der strategischen Punkte mit Klärung der Zugangsrechte für IAEA-Inspektoren.

Der Kernmaterialüberwachung gemäß dem Konzept des Verifikationsabkommens ist das Prinzip der Materialbuchführung und Materialbilanzierung sowie der Bilanzprüfung und der Materialverifizierung zugrunde gelegt:

- Der Anlagenbetreiber führt Buch über die Bestandsänderungen und die Bestände an Kernmaterial in seiner Anlage und stellt in mindestens jährlichen Zeitabständen eine Bilanz auf.
- Inspektoren der Überwachungsorganisationen prüfen die Bilanz und verifizieren die in der Bilanz aufgenommenen Daten.

Die Orte, an denen Daten verifiziert und die Orte an denen Beobachtungs- und Einschließungsmaßnahmen durchgeführt werden, heißen strategische Punkte. Es ist ein wesentlicher Grundsatz der Kernmaterialüberwachung nach dem Verifikationsabkommen, daß die Tätigkeiten der Inspektoren der IAEA und ihr Zugangsrecht in den Anlagen im Normalfall auf diese strategischen Punkte beschränkt sind. Das Modell der Überwachung geht im Bezug auf die Bestandsaufnahme und die Bestandsprüfung von Voraussetzungen aus, die für die praktische Durchführung von Bedeutung sind. Die wichtigste ist hier:

Bei der Bestandsprüfung sind alle Kernmaterialchargen an den jeweiligen, für die Bestandsaufnahme festgelegten Schlüsselmeßpunkten unabhängig von der enthaltenen Menge an Kernmaterial vorzuweisen, so daß sie von der Überwachungsorganisation nachgeprüft werden können. Die Prüfung beschränkt sich im allgemeinen auf Identifizierung und Sichtkontrolle aller Chargen und der stichprobenweisen Messung einzelner Chargen.

Die Nachprüfung kann entweder direkt, d.h. durch Verifizieren der vom Betreiber angegebenen Werte mittels Messungen oder indirekt, z.B. durch Prüfung von angebrachten Siegeln und Prüfung des Containments erfolgen.

Dieses Grundmodell der Überwachung ist im Endlager technisch nur in sehr beschränktem Maße anwendbar. Sobald die Endlagerbehälter

versetzt bzw. die Strecke verfüllt ist, ist eine direkte Bestandsverifizierung technisch nicht mehr durchführbar, so daß dieses Grundmodell bei der Anwendung für das direkte Endlager einige wesentliche Einschränkungen erfährt. Eine Bestandsverifizierung ist nur noch auf dem indirekten Wege, etwa nach folgendem Schema möglich:

Es liegt kein Anhaltspunkt dafür vor, daß das Material nicht mehr da ist. Daraus kann geschlossen werden, daß es noch vorhanden ist und die Ergebnisse der letzten Verifizierungen noch gelten.

Diese Form der indirekten Materialverifizierung kann für die Überwachungsbehörde nur dann akzeptabel sein, wenn sie davon ausgehen kann, daß alle denkbaren Abzweigungspfade mit ausreichender Sicherheit kontrollierbar sind. Dazu müssen zusätzliche strategische Punkte definiert werden.

Strategische Punkte sind laut Definition des Verifikationsabkommens (Art. 98) : Strategischer Punkt bedeutet einen bei der Prüfung von Anlagedaten ausgewählten Ort, wo unter normalen Bedingungen und im Verein mit den Informationen von der Gesamtheit der strategischen Punkte, die für die Durchführung der Sicherungsmaßnahmen notwendigen und hinreichenden Informationen erlangt und nachgeprüft werden; ein strategischer Punkt kann ein Ort sein, wo Schlüsselmessungen für die Materialbilanzbuchhaltung durchgeführt und wo Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung getroffen werden.

Die Einlagerung abgebrannter Brennelemente stellt nur einen geringen Teil der Handhabungsvorgänge im Endlager dar. Außer zur Endlagerung von Brennelementen ist das Bergwerk auch zur Einlagerung von radioaktiven Abfällen vorgesehen. Die Abfall-Lagerung wird in jedem Fall in einem von der ELG-Lagerung unabhängi-

gen Feld erfolgen, wobei jedoch Übertageanlagen und Schachtanlagen für beide Einlagerungsmaterialien benutzt werden. Die Abfall-Materialien werden in 200 bzw. 400 l Fässern mit Betonabschirmung angeliefert. Vorgesehen ist die Einlagerung von ca. 27500 Gebinden pro Jahr. Die Abfallgebinde-Einlagerung erfolgt zeitlich parallel zur ELG-Einlagerung. Bergmännisch werden für die Erschließung des Abfall-Einlagerungsfeldes die gleichen Maschinen eingesetzt. Es gibt keinen Unterschied zwischen den Maschinen für beide Felder. Die Abfallgebinde unterliegen nicht mehr der Safeguardskontrolle. Ihre Einlagerung ist nicht überwachungspflichtig.

Vom Safeguardsstandpunkt aus gesehen muß jedoch die zeitlich parallele und in räumlicher Nähe erfolgende Einlagerung des radioaktiven Abfalls als Störfaktor angesehen werden. Durch die Abfall-Einlagerung ergeben sich nicht überwachte und nicht erklärungsspflichtige Aktivitäten über und unter Tage, die die Aufdeckung einer Abzweigung erschweren bzw. die Verschleierung einer Abzweigung erleichtern können. Für die Entwicklung eines Safeguardskonzeptes und für die Festlegung der strategischen Punkte und der Zugangsrechte der IAEA-Inspektoren ist es daher wesentlich, inwieweit alle Aktivitäten im Endlagerbergwerk auch von der Überwachungsbehörde eindeutig zugeordnet werden können. Aufgrund der Notwendigkeit, das Material auf indirektem Wege verifizieren zu müssen, ist für die Überwachungsbehörde die Vollständigkeit ihres Informationsstandes hinsichtlich aller materialbezogener Aktivitäten von eminenter Bedeutung. Die Überwachungsbehörde kann die Aussage, daß sie keine Anhaltspunkte dafür hat, daß das zu überwachende Material nicht mehr da ist, nur dann treffen, wenn auch im Umfeld der Endlagergebinde-Einlagerung keine erklärungsbedürftigen oder mißdeutbaren Aktivitäten registriert worden sind. Dies kann ggf. dazu führen, daß den Inspektoren der IAEA auch Beobachtungs- und Zugangsrechte für Vorgänge, Anlagen und Orte der Abfall-Einlagerung gewährt werden müssen, um ihnen alle relevanten Aktivitäten des Endlagerbergwerks transparent zu machen.

- Zu 3: Klärung der Frage, inwieweit die IAE0 eine von EURATOM unabhängige Überwachung durchführen kann.

Das Verifikationsabkommen bestimmt, daß EURATOM und IAE0 bei der Durchführung der Überwachungsmaßnahmen jede unnötige Doppelarbeit vermeiden. Die IAE0 führt die Überwachungstätigkeiten so durch, daß sie, sofern sie die Zwecke ihrer Inspektionen erreichen kann, die Tätigkeiten der EURATOM-Inspektoren beobachtet sowie die Feststellungen EURATOMs nachprüft. Die Nachprüfung durch die IAE0 umfaßt unter anderem unabhängige Messungen und Beobachtungen. Bei der Größenordnung des Überwachungsproblems ist davon auszugehen, daß die IAE0 möglichst weitgehende Unabhängigkeit von der Überwachungstätigkeit EURATOMs anstreben wird. Dieses könnte z.B. bedeuten, daß CS-Maßnahmen für EURATOM und IAE0 redundant angewendet werden, bzw. gemeinsam ausgewertet werden, wie dies z.B. bei Kameraüberwachung in LWR-Anlagen derzeit der Fall ist.

- Zu 4: Klärung der Frage, inwiefern die Überwachung bei Nachweis der Nichtrückholbarkeit des Materials beendet werden kann.

Die Kriterien für die Befreiung von Material von der Überwachung werden in Artikel 11 des Verifikationsabkommens beschrieben: "Die Sicherungsmaßnahmen nach diesem Übereinkommen werden im Bezug auf Kernmaterial beendet, wenn die Gemeinschaft und die Organisation feststellen, daß das Material verbraucht oder in einer anderen Weise verdünnt worden ist, daß es für eine nukleare Tätigkeit, die unter dem Gesichtspunkt der Sicherungsmaßnahmen von Belang ist, nicht mehr verwendbar ist oder praktisch nicht rückgewinnbar geworden ist."

Hinsichtlich der Bewertung der Nichtrückholbarkeit ist sicherlich die Art der Lagerung von entscheidender Bedeutung, wobei

die im Referenzkonzept vorgesehene Lagerung mit verlorener Abschirmung die Einstufung des Materials als "nichtrückholbar" erheblich erschwert.

Bei der Bewertung der Rückholbarkeit sind auch die Betriebsphasen des Lagers zu berücksichtigen. Eine Beweisführung in der Art, daß die Nichtrückholbarkeit des Materials bereits in der Betriebsphase des Endlagers d.h. nach dem Verfüllen der einzelnen Einlagerungsstrecken gegeben ist, dürfte bei der vorgesehenen Lagerung mit verlorener Abschirmung sehr schwierig sein.

Die Bewertung der Rückholbarkeit für die Nachbetriebsphase des Lagers, d.h. nach dem Verfüllen der Schächte, ist sicherlich anders zu beurteilen. Würde das Material auch für die Nachbetriebsphase des Lagers noch als überwachungspflichtig eingestuft, so würde dies eine Überwachung auf unabsehbare Zeit erfordern. Dies wäre ebenfalls eine gänzlich neue Dimension für internationale Safeguardsmaßnahmen, die bei konventionellen Anlagen in der Regel mit der Entfernung des Inventars oder spätestens mit der Stilllegung bzw. dem Abbruch der Anlage beendet werden können. Eine Überwachung ad infinitum würde voraussichtlich auch neue Überwachungstechniken erfordern, die noch entwickelt werden müßten.

4.1.3 Derzeitige Diskussion

Es ist allgemein anerkannt, daß das Überwachungskonzept auf der Basis von INFCIRC/153, zumindest für einige Anlagentypen, einer Weiterentwicklung bedarf. Von der IAEA wurde ein erweitertes Überwachungskonzept ausgearbeitet, das, über das bestehende Modell hinaus, zusätzliche strategische Punkte in den Materialbilanzonen vorsieht, an denen

vom Betreiber Betriebsaufzeichnungen geführt und vom Inspektor Messungen an Kernmaterial durchgeführt werden, sowie laufende Betriebsvorgänge beobachtet werden. Die Durchführung der Überwachung nach diesem Modell, die in einigen anlagenspezifischen Anhängen von kerntechnischen Anlagen in der Bundesrepublik Niederschlag gefunden hat, wurde von Seiten der Bundesrepublik nur probeweise und für eine begrenzte Zeit akzeptiert. Dies betrifft insbesondere die IAEA Forderungen auf:

- Errichtung zusätzlicher strategischer Punkte zur Erfassung des Kernmaterialflusses innerhalb von Materialbilanzonen
- Zugang zu Betriebsprotokollen über den Kernmaterialfluß an den zusätzlichen strategischen Punkten
- Ausführung von Verifikationstätigkeiten an den zusätzlichen strategischen Punkten
- Durchführung der Überwachung im Grundsatz unabhängig von der EURATOMs.

Für diese probeweise und befristet akzeptierten Überwachungstätigkeiten gibt es keine gesetzliche Grundlage im Verifikationsabkommen.

4.2 Safeguardskonzept

Das gesamte Kernmaterialinventar des Endlagers ist in einzeln identifizierbaren Items, den Endlagergebinden, enthalten. Die Überwachungskonzepte der IAEA für solche Anlagen basieren auf einer Item-Buchhaltung. Da bei den Endlagergebinden die Möglichkeit der direkten Verifizierung, z.B. durch zerstörungsfreie Meßmethoden (NDA), ausgeschlossen ist, verbleiben als anwendbare Maßnahmen im Rahmen der Kernmaterialbilanzierung:

- Zählung (item counting),
- Identifizierung (item identification),
- Integritätsprüfung für Siegel und Umhüllung (verification of the integrity of the item).

Für das Safeguardskonzept des Endlagers wird davon ausgegangen, daß der Inhalt der Endlagergebinde in der Konditionierungsanlage vor dem Einbüchsen verifiziert wird. Anschließend werden noch in der Konditionierungsanlage die Endlagergebinde so versiegelt, daß durch Prüfung der Item-Integrität die Gültigkeit der letzten Messung beliebig ausgedehnt werden kann. Die Daten dieser Messung werden für das Item beibehalten, solange es noch der Überwachung unterliegt. Die Verifizierung des im Item enthaltenen Materials erfolgt ab dem Ausgang aus der Konditionierungsanlage nur noch durch Identitäts- und Integritätsprüfung.

4.2.1 Endlagerbehälter

Das Endlagergebinde für das Referenzkonzept (drei unzerlegte BE pro ELG) besteht aus vier übereinander liegenden Schalen:

- Trockenlagerbüchse
- Grundkörper
- Korrosionsschutz
- Zusatzabschirmung.

Grundkörper und Korrosionsschutz bilden den Endlagerbehälter, der in einem speziellen Verfahren aus einem Stück gegossen wird. Boden und Deckel des ELB werden eingeschraubt und geschweißt. Für Safeguardsbetrachtungen relevant ist hierbei in der Hauptsache die äußerste Umhüllung, d.h. bei Endlagerung mit verlorener Abschirmung die Zusatzabschirmung des ELG bzw. die Korrosionsschutzschicht des ELB bei Bohrlochlagerung.

Als Zusatzabschirmung wird ein gegossener zylindrischer Körper verwendet, dessen Boden und Deckel im Unterschied zu der Verfahrensweise bei den darunterliegenden Schalen eingeschraubt werden. Konstruktiv sind Befestigungspunkte so vorzusehen, daß eine Versiegelung der Boden- und Deckelöffnungen möglich ist. Bei Anwendung elektronischer Siegel sind zum Schutz derselben entsprechende Mulden oder Aussparungen vorzusehen, in denen die Siegel montiert werden können. Als Back-up-System für die Versiegelung der Zusatzabschirmung kann eine Schweißnahtverifikation des Korrosionsschutzes (nächste darunter liegende Schale) vorgesehen werden. Für die weiteren Betrachtungen wird zunächst davon ausgegangen, daß der als Zusatzabschirmung vorgesehene Gußbehälter (die verlorene Abschirmung), der das äußere Containment eines Endlagergebundes darstellt, durch visuelle Kontrolle auf seine Integrität überprüft werden kann und die Containmentöffnungen durch ein oder mehrere entsprechende, in situ verifizierbare Siegel gesichert sind.

4.2.2 Kernmaterialfluß

Die Endlagergebäude werden über das öffentliche Schienennetz von der Bundesbahn transportiert. Sie werden in einem Typ-B-Transportbehälter

angeliefert, der für den Transport auf öffentlichen Wegen entsprechend den Vorschriften ausgelegt ist. Die angelieferten Waggons werden zunächst im Pufferbereich abgestellt. Die Pufferkapazität ist für drei Arbeitstage, d.h. neun Endlagergebinde, ausgelegt. Im Pufferbereich sind die Endlagergebinde selbst noch nicht zugänglich, da sie sich noch im Transportbehälter befinden.

Vom Pufferbereich werden die Waggons zur Umschlagstelle gefahren und die Endlagergebinde aus den Transportbehältern gezogen und auf den gleisgebundenen innerbetrieblichen Transportwagen (Plateauwagen) umgeladen. Die Umladung erfolgt mit einer Krananlage. Die anschließend durchgeführte Eingangskontrolle erfolgt in Form einer Dosisleistungsmessung, eines Wischtests, einer visuellen Kontrolle und der Registrierung. Dabei könnte auch die Integritätsprüfung für Containment und Siegel der Zusatzabschirmung erfolgen. Der Plateauwagen wird dann zum Schacht gefahren, in den Förderkorb eingebracht und zur Einlagerungsebene transportiert. In der Einlagerungsebene wird der Plateauwagen aus dem Förderkorb gezogen und zur Einlagerungsstrecke gefahren. Am Schnittpunkt von Richtstrecke und Einlagerungsquerschlag endet der gleisgebundene Transport unter Tage.

Das Endlagergebinde wird nun vom Plateauwagen auf die Einlagerungsmaschine umgeladen bzw. von ihr aufgenommen und (nicht gleisgebunden) in die Einlagerungsstrecke gefahren. Am Einlagerungsort wird der Behälter von der Einlagerungsmaschine abgesetzt. Nach dem Verblasen mit Versatzmaterial ist der Behälter nicht mehr zugänglich. Der Materialfluß ist schematisch in Bild 4-1 dargestellt.

4.2.3 Vorüberlegungen zum Safeguardskonzept

Ausgehend vom oben skizzierten Materialfluß können folgende Überlegungen festgehalten werden:

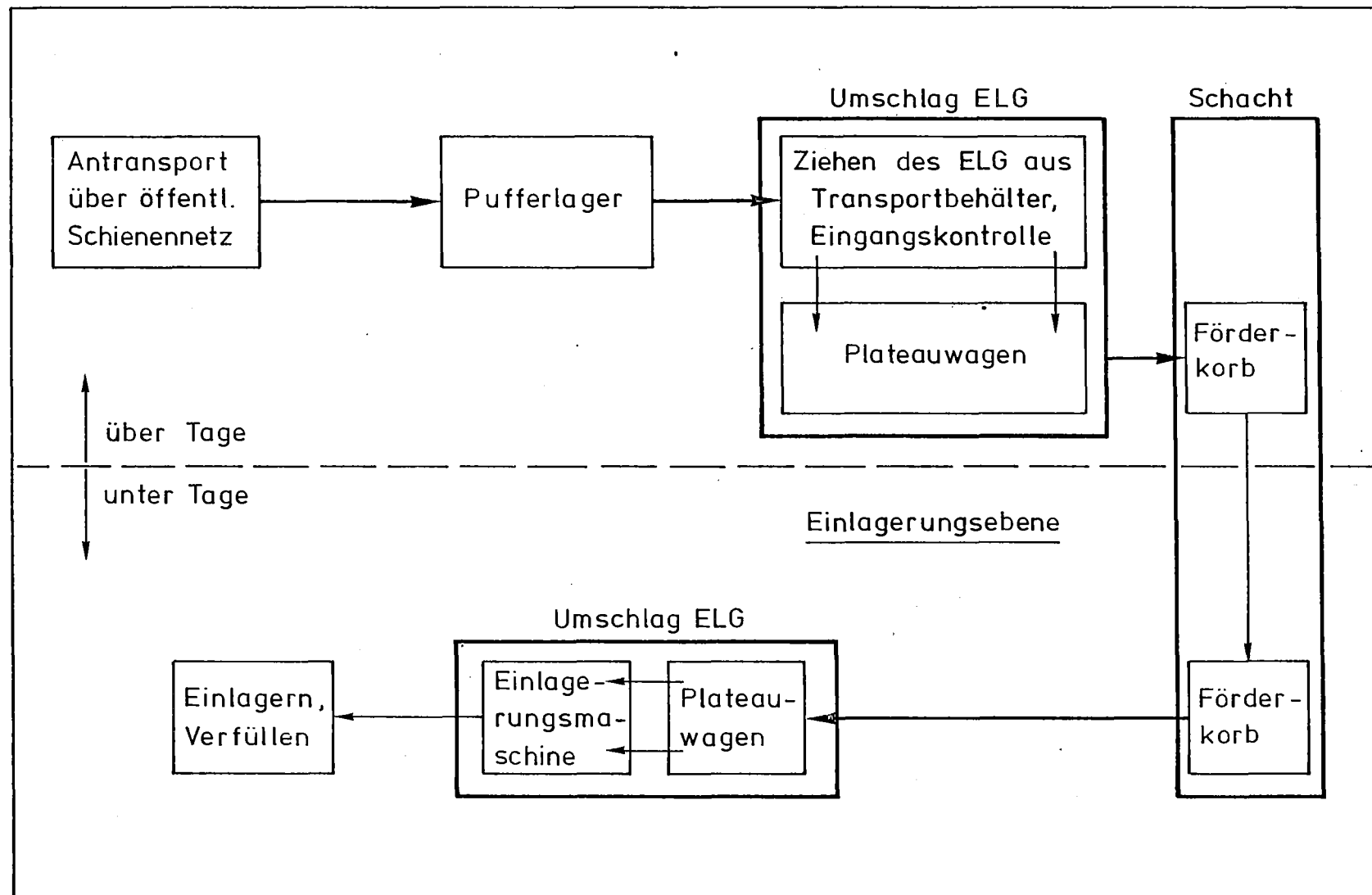


Bild 4-1: Materialfluß - Schema

Die Identifizierung und Verifizierung der einzelnen Endlagergebinde ist erst nach dem Ziehen des ELG aus dem Transportbehälter möglich. Dieses erfolgt nach Verlassen des Pufferlagers zu Beginn des Einlagerungsvorganges, unmittelbar vor der Eingangskontrolle. Daher erscheint die Aufteilung der Anlage in Materialbilanzzonen (MBZ) (z.B. nach dem Kriterium über Tage / unter Tage) nicht sinnvoll. Die Verweilzeit des Materials über Tage (Pufferlager) beträgt maximal einige Tage und die Einrichtung einer gesonderten MBZ für den Übertagebereich würde zusätzlichen Identifizierungs- und Buchungsaufwand erfordern, ohne die Kontrollmöglichkeiten zu verbessern. Nach der Eingangskontrolle wird die Einlagerung der Endlagergebinde ohne weitere Zwischenpufferung als kontinuierlicher Vorgang durchgeführt.

Die letzte Möglichkeit ein Endlagergebinde zu identifizieren ist nach dem Absetzen des ELG durch die Einlagerungsmaschine in der Einlagerungsstrecke gegeben. Danach setzt der Versatzvorgang ein, und dieser Teil der Strecke wird unbegebar. Es sollte geprüft werden, inwieweit dieser letzte Schritt (Verblasen des Behälters) an ein Bestätigungssignal für die Funktionsfähigkeit der Überwachungseinrichtungen gekoppelt werden kann, um die Ausfallsicherheit des Systems zu erhöhen.

Solange der Einlagerungsprozeß inclusive des Versetzens und damit des Unzugänglichmachens der Endlagergebinde als kontinuierlicher Prozeß abläuft, ist auch zur Verifizierung des Materialstromes eine kontinuierliche Überwachung erforderlich. Das Ziel der Kontrolle des Materialflusses ist es, zu prüfen, ob das deklarierte Material am deklarierten Ort eingelagert wird. Eine Möglichkeit, bereits in der Einlagerungsstrecke abgesetzte Endlagergebinde auf Identität und Integrität zu prüfen und die Strecke erst im Anschluß an alle Einlagerungsvorgänge unter Beobachtung zu verfüllen, könnte das Überwachungsverfahren wesentlich vereinfachen. In diesem Falle könnte die kontinuierliche Überwachung der Einlagerungsarbeiten durch eine chargenorientierte Verifizierung (eine oder mehrere komplette Strecken) der Arbeitsergebnisse ersetzt werden. Ein Verfüllen der Strecke erst nach Abschluß aller Einlagerungsvorgänge ist jedoch technisch schwieriger und führt

zu erheblich höherer Dosisbelastung des Betriebspersonals durch Direktstrahlung.

Hinsichtlich der Kernmaterialüberwachung besteht die erste Teilaufgabe darin, sicherzustellen, daß der Materialfluß in der deklarierten Art und Weise erfolgt; d.h. , daß das deklarierte Material an den deklarierten Ort verbracht wird. Dies kann im wesentlichen durch Anwendung von Beobachtungsmaßnahmen (Kamera und/oder personelle Überwachung) erreicht werden.

Die nächste Teilaufgabe besteht darin, sicherzustellen, daß das eingelagerte Material bis zu seiner endgültigen Einschließung (Verschließen der Einlagerungsstrecke bzw. Verdämmen der Richtstrecke für bereits verfüllte Felder) am Einlagerungsort verbleibt. Zur Sicherung gegen die Rückholung des Materials über deklarierte Wege können ebenfalls Beobachtungsmaßnahmen eingesetzt werden.

Für die letzte Teilaufgabe der Überwachung, sicherzustellen, daß zu bereits verfüllten und verdämmten Strecken nicht heimlich weitere Zugänge geschaffen werden, über die eine Abzweigung des Materials erfolgen könnte, oder daß das Material nach dem Verfüllen der Strecken innerhalb des Bergwerks einer heimlichen Weiterverarbeitung unterzogen wird, sind besondere Maßnahmen erforderlich. Diese Form der Abzweigung wäre zwar technisch mit sehr großem Aufwand verbunden, ist jedoch nicht mit Sicherheit auszuschließen. Da derzeit keine Indikatoren verfügbar oder bekannt sind, die eine solche Abzweigung mit Sicherheit anzeigen können, muß die Strategie für diese Teilaufgabe der Überwachung darin bestehen, den erforderlichen technischen Aufwand für eine heimliche Abzweigung über diese Pfade durch geeignete Maßnahmen so zu vergrößern, daß dieses Abzweigungsrisiko auf ein akzeptables Restrisiko reduziert werden kann. Geeignete Maßnahmen könnten z.B. in einer umfassenden Zugangsgewährung für Inspektoren zu allen obertägigen und untertägigen Anlagen bestehen.

4.2.4 Safeguardskonzepte für unterschiedliche Zugangsmodelle

Im folgenden sollen drei Modelle betrachtet werden, die sich durch unterschiedliche Zugangsberechtigungen für die IAEA-Inspektoren unterscheiden. Im Modell 1 ist der Zugang beschränkt auf die oberirdischen Anlagen, Modell 2 umfaßt einen limitierten Zugang zu den untertägigen Anlagen und Modell 3 den unbeschränkten Zugang zu allen untertägigen Anlagen.

4.2.4.1 Zugangsmodell 1

Version 1

In diesem Modell ist der Zugang des Inspektors beschränkt auf strategische Punkte über Tage. Strategische Punkte (SP) sind die Schlüsselmeßpunkte (SMP), die übertägige Umschlagsanlage sowie beide Schächte des Bergwerks.

Wesentliches Element bei diesem Modell ist, daß nach dem Verbringen des Materials nach unter Tage eine Rückholung oder eine interne Abzweigung innerhalb des Bergwerks ausgeschlossen werden. Mit dem Verbringen nach unter Tage wird daher das Material aus der Safeguardsüberwachung entlassen und über SMP 2 (Befreiung von der Meldepflicht) ausgebucht. Da bei diesem Modell nach Abschluß der Einlagerungsaktivitäten definitionsgemäß kein überwachungspflichtiges Material mehr vorliegt, sind für die Nachbetriebsphase auch keine Überwachungsmaßnahmen mehr erforderlich. Die wesentlichen Elemente dieses Modells sind:

Materialbilanzzonen

- Die Anlage bildet eine Materialbilanzzone

Strategische Punkte, welche Schlüsselmeßpunkte sind

- Zur Bestimmung des Kernmaterialflusses
 - SMP 1 - Eingang, Einfuhr, Aufhebung der Befreiung (für rework-Material)
 - SMP 2 - Befreiung von der Meldepflicht
- Zur Aufnahme des realen Bestandes
 - SMP A - Pufferlager

Protokollsystem

- Verbuchen von Bestandsänderungen
 - Eingang, Einfuhr zum Zeitpunkt des Eingangs
 - Befreiung von der Meldepflicht zum Zeitpunkt des Verbringens nach unter Tage
- Betriebsprotokolle enthalten folgende Angaben
 - Einlagerungsort und -zeitpunkt für jedes ELG
 - Art, Ort und Zeitpunkt von Verfüllungs-/Verschließungsmaßnahmen

Einrichtungen und installierte Vorrichtungen

- Siegel an ELG
- optische Überwachung ELG-Umschlag über Tage
- optische Überwachung/Detektoren an den Eingängen beider Schächte

Strategische Punkte für Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung

- ELG-Umschlag über Tage
- Eingang Schacht 1
- Eingang Schacht 2

Aufnahme des realen Bestandes

- Zählung und Identifizierung der Posten an Schlüsselmeßpunkt A

Angewendete Überwachungsmaßnahmen:

- Vorbetriebsphase
 - Design-Verifikation vor Inbetriebnahme (nur über Tage)

- Betriebsphase
 - Identitäts- und Integritätsprüfung der Endlagergebinde durch den Inspektor bei Eingang (Eingangskontrolle)
 - Kamera-Überwachung der Umschlaganlage über Tage zur Sicherung gegen nicht deklarierte Umschlagsvorgänge (Austausch gegen Dummy)
 - CS-Maßnahmen (Kamera, Detektoren) an den strategischen Punkten Schacht 1 und Schacht 2 zur Sicherung gegen undeklarierten Materialfluß (Rückfluß).
- Nachbetriebsphase
 - keine Überwachungsmaßnahmen

Version 2

Version 2 dieses Modells unterscheidet sich nur dadurch, daß eine Befreiung von der Meldepflicht für das Material unter Tage nicht erfolgen kann. Anstelle von SMP 2 tritt damit SMP B für nicht zugängliches Material unter Tage. Die Bestandsaufnahme an diesem Schlüsselmeßpunkt erfolgt dadurch, daß aufgrund der Beobachtungen an den strategischen Punkten Schacht 1 und Schacht 2 die Feststellung getroffen werden kann, daß kein Materialrückfluß stattgefunden hat. Das in das Bergwerk eingebrachte Material muß demnach noch im Bergwerk vorhanden sein. Die Überwachungsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase hängen davon ab, ob mit dem Verschließen des Bergwerks die Voraussetzungen für die Entlassung des Materials aus der Überwachung erfüllt werden können. Die wesentlichen Elemente dieser Modellversion sind:

Materialbilanzzonen

- Die Anlage bildet eine Materialbilanzzone

Strategische Punkte, welche Schlüsselmeßpunkte sind

- Zur Bestimmung des Kernmaterialflusses
 - SMP 1 - Eingang, Einfuhr
- Zur Bestimmung des realen Bestandes
 - SMP A - Pufferlager
 - SMP B - alle untertägigen Anlagen, Material nicht zugänglich

Protokollsystem

- Verbuchen von Bestandsänderungen
 - Eingang, Einfuhr zum Zeitpunkt des Eingangs
 - Befreiung von der Meldepflicht zum Zeitpunkt des Verschließens des Bergwerks, falls Terminierung seitens IAE0 vorgesehen
- Betriebsprotokolle enthalten folgende Angaben
 - Einlagerungsort und -zeitpunkt für jedes ELG
 - Art, Ort und Zeitpunkt von Versatz- und Verdämmungsmaßnahmen

Einrichtungen und installierte Vorrichtungen

- Siegel an ELG
- optische Überwachung ELG-Umschlag über Tage
- optische Überwachung (Detektoren) an den Eingängen zu beiden Schächten

Strategische Punkte für Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung

- ELG-Umschlag über Tage
- Zugang Schacht 1
- Zugang Schacht 2

Aufnahme des realen Bestandes

- Zählung und Identifizierung der Posten an Schlüsselmeßpunkt A
- Feststellung, daß keine Rückflüsse über die SP Schacht 1 und Schacht 2 erfolgt sind; Schlußfolgerung, daß das eingebrachte Material noch vorhanden sein muß.

Angewendete Überwachungsmaßnahmen:

- Vorbetriebsphase
 - Design-Verifikation vor Inbetriebnahme (über Tage und unter Tage)
- Betriebsphase
 - Identitäts- und Integritätsprüfung der Endlagergebinde durch den Inspektor bei Eingang (Eingangskontrolle)
 - Kamera-Überwachung der Umschlaganlage über Tage zur Sicherung gegen undeklarierte Umschlagsvorgänge (Austausch gegen Dummy)

- C/S-Maßnahmen (Kamera, Detektoren) an den strategischen Punkten an beiden Schächten zur Sicherung gegen undeklarierten Materialfluß (Rückfluß).
- Nachbetriebsphase
 - Beendigung der Überwachung nach Verfüllung aller Schächte, Abbruch der oberirdischen Anlagen und Nachweis der Nicht-rückholbarkeit (sofern bergmännische Anerkennung möglich)
 - Routinemäßige Inspektionen des Geländes durch Inaugenscheinnahme zur Kontrolle auf Aktivitäten, die ein Wiederauffahren des Bergwerks oder sonstige Maßnahmen zur Rückholung des Materials indizieren können.

Beide Versionen dieses Modells haben als Voraussetzung, daß das Endlagerbergwerk selbst als ausreichende Barriere angesehen werden kann, so daß auf Maßnahmen, die sicherstellen,

- daß es keine nichtdeklarierten Containmentöffnungen gibt, durch die Material zurückgeholt werden könnte, und
- daß eine Abzweigung von Material innerhalb des Containments (Wiederaufarbeitung unter Tage) ausgeschlossen werden kann,

verzichtet werden kann.

4.2.4.2 Zugangsmodell 2

Dieses Modell umfaßt Modell 1 und zusätzliche strategische Punkte unter Tage. Die strategischen Punkte unter Tage erlauben es dem Inspektor, den untertägigen Kernmaterialfluß zu überwachen. Die Überwachung des Kernmaterialflusses unter Tage kann in verschiedenen Intensitätsstufen erfolgen:

- Kontrolle des untertägigen Kernmaterialflusses durch Kameraüberwachung und event. Registrierinstrumenten an Förder- und

Transporteinrichtungen mit der Möglichkeit der personellen Überwachung bei Geräteausfall,

- zusätzlich stichprobenweise personelle Überwachung von Einlagerungsvorgängen,
- personelle Begleitung jedes Endlagergebundes durch den Inspektor vom Einbringen in den Schacht bis zum Einlagern in der Strecke und Verfüllen des Streckenabschnittes.

Auf dieses Modell treffen im wesentlichen die gleichen Einschränkungen wie auf Modell 1 zu. Es müßte eine Terminierung der Überwachung mit dem Verfüllen der Strecke möglich sein, bzw. das Endlagerbergwerk selbst als ausreichend sichere Barriere angesehen werden.

Der Zugang des Inspektors zu strategischen Punkten unter Tage würde eine Abzweigung im Endlagerbergwerk oder aus dem Endlagerbergwerk zwar wesentlich erschweren, sie kann jedoch nicht mit ausreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die wesentlichen Elemente des Modells 2 sind:

Materialbilanzzonen

- Die Anlage bildet eine Materialbilanzzone

Strategische Punkte, welche Schlüsselmeßpunkte sind

- Zur Bestimmung des Kernmaterialflusses
 - SMP 1 - Eingang, Einfuhr
 - SMP 2 - Befreiung von der Meldepflicht, falls Safeguards-terminierung seitens IAEA vorgesehen
- Zur Bestimmung des realen Bestandes
 - SMP A - Pufferlager
 - SMP B - noch nicht verfüllte Strecken, unter Tage
 - SMP C - verfüllte Strecken, unter Tage

Protokollsystem

- Verbuchen von Bestandsänderungen
 - Eingang, Einfuhr zum Zeitpunkt des Eingangs
 - Befreiung von der Meldepflicht zum Zeitpunkt des Verschließens des Bergwerks, falls Safeguardsterminierung möglich
- Betriebsprotokolle enthalten folgende Angaben
 - Einlagerungsort und -zeitpunkt für jedes ELG
 - Art, Ort und Zeitpunkt von Verfüllungs-/Verschließungsmaßnahmen

Einrichtungen und installierte Vorrichtungen

- Siegel an ELG
- optische Überwachung ELG-Umschlag über Tage
- optische Überwachung / Detektoren an den Zugängen zu beiden Schächten
- optische Überwachung ELG-Umschlag unter Tage (Füllort - Richtstrecke, Richtstrecke - Einlagerungsquerschlag und Eingang Einlagerungsstrecke)
- Aufzeichnungsgeräte / Fahrtenschreiber für Fördermaschine, Plateauwagen (Zugmaschine) und Einlagerungsmaschine (wenn verfügbar und notwendig).

Strategische Punkte für Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung

- ELG-Umschlag über Tage
- Zugang Schacht 1
- Zugang Schacht 2
- ELG-Umschlag unter Tage (Förderkorb - Richtstrecke und Richtstrecke - Einlagerungsquerschlag)
- Eingang Einlagerungsstrecke

Aufnahme des realen Bestandes

- Zählung und Identifizierung der Posten an den Schlüsselmeßpunkten A und B, soweit noch nicht verfüllt
- Integritätsprüfung der Streckenabschlüsse am Schlüsselmeßpunkt C durch Inaugenscheinnahme; Schlußfolgerung, daß das eingebrachte Material noch vorhanden sein muß.

Angewendete Überwachungsmaßnahmen:

- Vorbetriebsphase
 - Design-Verifikation vor Inbetriebnahme (über Tage und unter Tage)
- Betriebsphase
 - Design-Reverifikation nach Auffahren einer neuen Strecke
 - Identitäts- und Integritätsprüfung der Endlagergebinde durch den Inspektor bei Eingang (Eingangskontrolle)
 - Kamera-Überwachung an der Umschlaganlage über Tage zur Sicherung gegen nicht deklarierte Umschlagsvorgänge (Austausch gegen Dummy)
 - CS-Maßnahmen (Kamera, Detektoren) an den strategischen Punkten an beiden Schächten zur Sicherung gegen undeklarierten Materialfluß (Rückfluß)
 - Kamera-Überwachung an den untertägigen Umschlagstellen (von Förderkorb schienengebunden in Richtstrecke; vom Plateauwagen auf gleislose Einlagerungsmaschine) als Sicherung vor Austausch gegen Dummy
 - Kamera-Überwachung für Eingang der Einlagerungsstrecke zur Beobachtung des Einlagerungsvorganges und Sicherung gegen Rückholung bis zum Verschließen der Strecke
 - Aufzeichnung von Fahrtzeit und -geschwindigkeit bei Fördermaschine, Plateauwagen (Zugmaschine) und Einlagerungsmaschine als unterstützende Maßnahme zur Kamera-Überwachung (wenn verfügbar und notwendig)
 - Inspektorzugang zu den strategischen Punkten unter Tage auf Stichprobenbasis oder jederzeit.
- Nachbetriebsphase
 - Beendigung der Überwachung nach Verfüllung aller Schächte, Abbruch der oberirdischen Anlagen sowie Nachweis der Nicht-rückholbarkeit (wenn anerkanntermaßen bergmännisch unmöglich)
 - Routinemäßige Inspektionen des Geländes durch Inaugenscheinnahme zur Kontrolle auf Aktivitäten, die ein Wiederauffahren des Bergwerks oder sonstige Maßnahmen zur Rückholung des Materials indizieren können.

Bei dem Modell 2 verbleibt als Restrisiko z.B. auch die Abzweigungsmöglichkeit, vom Abfall-Einlagerungsbereich her einen geheimen Zugang zu bereits verfüllten Strecken oder Feldern des Brennelementlagerbereichs zu eröffnen, Endlagergebinde mit einer zusätzlichen Einlagerungsmaschine aus dem BE-Lagerbereich in den Abfall-Lagerbereich abzuweichen und sie hier entweder für den Rücktransport nach über Tage als MAW, für den rework erforderlich ist, zu tarnen oder im Abfall-Bereich weiterzuverarbeiten. Der Mißbrauch des Abfall-Lagerbereiches für eine Abzweigung aus dem BE-Lagerbereich kann dadurch wesentlich erschwert werden, daß den IAEO-Inspektoren ungehinderter Zugang zu allen Anlagen des Bergwerks gestattet wird. Diese Möglichkeit ist in Modell 3 vorgesehen.

4.2.4.3 Zugangsmodell 3

Modell 3 umfaßt Modell 2 und darüber hinaus als zusätzliche strategische Punkte alle untertägigen Anlagen und Einrichtungen:

Strategische Punkte für Maßnahmen zur räumlichen Eingrenzung und Beobachtung

- Alle übertägigen und untertägigen Anlagen und Einrichtungen des Endlagerbergwerkes, eingeschlossen den Waste-Lagerbereich

Angewendete Überwachungsmaßnahmen (zusätzlich zu Modell 2):

- Betriebsphase
 - Inspektorzugang zu allen untertägigen Anlagen (incl. Abfall-Lagerbereich) auf Stichprobenbasis oder
 - Unbeschränkter Inspektorzugang zu allen untertägigen Anlagen (incl. Abfall-Lagerbereich)

4.3 Safeguardselemente

4.3.1 Voraussetzungen

Das Endlager ist eine rein konventionell ausgerüstete Lageranlage. Es werden nur herkömmliche Förder- und Transporteinrichtungen vorgesehen. Alles Kernmaterial ist in Behältern derart umschlossen, daß es konventionell gehandhabt werden kann. Einrichtungen zur Handhabung, Untersuchung oder sonstigen Behandlung von offenem bestrahltem Kernmaterial wie z.B. heiße Zellen, heiße Chemie etc. sind nicht vorgesehen. Eine Prüfung des Inhalts der ELG ist im Endlager technisch nicht möglich, da alle benötigten Voraussetzungen fehlen. Die Eingangskontrolle der Gebinde besteht im Registrieren, in einer Dosisleistungsmessung und einem Wischtest. Alle darüber hinausgehenden Prüfungen bezüglich Form, Menge und Zusammensetzung des Kernmaterials in den ELG, die aufgrund nationaler oder internationaler Kontrollvorschriften erforderlich sind, müssen deshalb durchgeführt werden, bevor die ELG im Endlager angeliefert werden, d. h. in der Konditionierungsanlage.

Ein bestimmendes Element für die Auslegung des Überwachungssystems ist die Tatsache, daß die ELG im Endlager weder in Form noch in Zusammensetzung noch in ihrer äußeren Erscheinung verändert werden. Mit dem Kernmaterial werden nach genau vorgegebenem Ablaufschema ausschließlich Ortsveränderungen durchgeführt. Ziel der Überwachung ist es daher, sicherzustellen, daß das deklarierte ELG in der deklarierten Form (d.h. unversehrt) an den deklarierten Ort verbracht wird und an diesem verbleibt.

Für das Überwachungssystem wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

1. Der Zeitraum zwischen der letzten Verifizierung eines ELG in der Konditionierungsanlage und dem Einlagern dieses ELG im

Endlagerbergwerk ist kleiner als die geforderte Entdeckungszeit für das Material, so daß eine zwischenzeitliche Bestandsverifizierung aus Safeguardsgesichtspunkten nicht erforderlich ist.

2. Die Überprüfung der Identität des ELG und der Integrität seiner äußersten Umhüllung, d.h. der verlorenen Abschirmung mit positivem Ergebnis sind hinreichende Bedingung für die Verifizierung des im ELG eingeschlossenen Kernmaterials.
3. Solange die ELG für diese Verifizierung zugänglich bleiben, bzw. der Inspektor Zugang zu den einzelnen ELG hat, kann eine kontinuierliche Überwachung des Gebindeflusses entfallen.
4. Ist das ELG selbst nicht mehr zugänglich bzw. befindet es sich in Bereichen, zu denen der Inspektor keinen Zugang hat, und ist damit eine Verifizierung durch Identitäts- und Integritätsprüfung nicht möglich, so ist die Überwachung der potentiellen Abzweigungswege hinreichend, um eine Aussage über den eingeschlossenen Kernmaterialbestand treffen zu können.

Die Voraussetzung 1 besagt, daß der Zeitbedarf für den Transport der ELG von der Konditionierungsanlage zum Endlager und zum Einlagern der ELG kleiner ist als der geforderte Entdeckungszeitraum für eine Abzweigung des ELG-Materials. Aus Gründen der Rechtzeitigkeit der Entdeckung sind damit zwischen dem Zeitpunkt des Verlassens der Konditionierungsanlage und dem Einlagerungsvorgang keine weiteren Überprüfungen erforderlich. Eine ggf. erforderliche Transportüberwachung aus Objektschutzgründen bleibt für das Safeguardskonzept ohne Berücksichtigung.

Die Voraussetzung 2 besagt, daß alle für das Safeguardssystem erforderlichen Kernmaterial-Daten bezüglich Art, Menge, Zusammensetzung etc. bereits vor dem Transport zum Endlager ermittelt wurden. Die

Verifizierung des Kernmaterials im Endlager beschränkt sich auf die Feststellung, daß diese früher ermittelten Daten noch gültig sind, da kein Anhaltspunkt für eine gegenteilige Vermutung vorliegt. Diese Daten werden im Endlager nur rein buchmäßig fortgeschrieben.

Die Prüfung von Identität und Integrität ist nach Voraussetzung 2 hinreichend für die Verifizierung des Kernmaterials für Safeguardsbelange. Bei positivem Prüfungsergebnis kann die Überwachungsbehörde den Schluß ziehen, daß seit der letzten Verifizierung des Materials keine Änderungen eingetreten sind und daher die Daten der letzten Verifizierung noch gelten. Damit wird für die Überwachungsbehörde auch die Kontinuität des Wissens (continuity of knowledge) für den Zeitraum zwischen diesen Überprüfungen hergestellt. Eine permanente Überwachung des Kernmaterialflusses ist für die Überwachungsbehörde zur Wahrung der Kontinuität ihres Wissens nicht erforderlich, solange Voraussetzung 3 gilt.

Das Prinzip des Safeguardssystems beruht auf der Prüfung der Buchdaten und der unabhängigen Verifizierung des Materials. Eine direkte unabhängige Verifizierung ist im Endlager zu keinem Zeitpunkt möglich. Solange die ELG noch zugänglich sind, kann eine indirekte Verifizierung nach Voraussetzung 2 erfolgen. Sobald die ELG jedoch eingelagert und die Streckenabschnitte verfüllt sind, ist auch eine Verifizierung in dieser Form nicht mehr durchführbar. Die äußerste Umhüllung besteht dann aus dem Versatzmaterial, dem umgebenden Salzgestein und den Streckenabschlüssen. Eine Verifizierung kann jetzt nur noch auf indirektem Wege dadurch erfolgen, daß die Integrität dieser Umhüllung geprüft wird (Voraussetzung 4). Die Problemstellung ist dabei, wie die Integrität einer verfüllten bzw. verdämmten Strecke und in der Nachbetriebsphase die Integrität des gesamten Bergwerks für die Überwachungsbehörde überprüfbar ist. Das Safeguardssystem erfordert, daß die Überwachungsbehörde mit einer quantifizierbaren Fehlertoleranz eine Aussage über die Menge des vorhandenen Kernmaterials treffen kann. Diese Aussage kann die Überwachungsbehörde nur dadurch treffen, daß sie feststellt, welche Materialmengen eingelagert wurden, und an-

schließlich die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der Materialmengen ohne ihr Wissen entwendet oder einer nicht vorgesehenen Verwendung zugeführt wurden. Dies erfordert, daß die Überwachungsbehörde zum einen die ihr bekannten potentiellen Entwendungspfade auf Materialrückflüsse hin überwacht und sich zum anderen Gewißheit darüber verschafft, daß keine weiteren, ihr nicht offengelegten Zugänge zum eingelagerten Material existieren bzw. das Material nicht einer nicht deklarierten Verwendung zugeführt wird.

Voraussetzung 4 besagt damit, daß mit der Überwachung der potentiellen Abzweigungswege für die Überwachungsbehörde die Voraussetzungen grundsätzlich erfüllt sind, um die für das Safeguardssystem benötigte Aussage über den eingeschlossenen Kernmaterialbestand treffen zu können. Dies ist im wesentlichen eine Frage der Quantifizierung der Vollständigkeit und Wirksamkeit dieser Maßnahmen im Safeguardssinn.

.

4.3.2 Materialbilanzierung

Die Materialbuchhaltung ist eine reine Item-Buchhaltung. Jedes ELG ist zugleich Item und Charge. Als Daten zu Materialmenge und -zusammensetzung werden die Absenderangaben der Konditionierungsanlage unverändert übernommen. Da Messungen bei den Endlagergebinden nicht vorgenommen werden können, erfahren diese Daten auch weiterhin keine Änderungen mehr. Sieht man von der Möglichkeit der Befreiung des Kernmaterials von der Überwachung und von Materialrücktransporten aufgrund von rework-Erfordernissen ab, bestehen die zu verbuchenden Bestandsänderungen nur aus Zugängen. Der Einlagerungsvorgang wird durch Betriebsprotokolle dokumentiert.

Hinsichtlich der Materialbuchhaltung ergeben sich für das Endlager keinerlei Besonderheiten. Mit den Überwachungsbehörden abzustimmen

sind nur Form und Inhalt der Betriebsprotokolle, die den Einlagerungsvorgang dokumentieren.

4.3.3 Containment- und Surveillance-Maßnahmen

4.3.3.1 Siegeleinrichtungen

Der Einlagerungsprozeß ist als kontinuierlicher Prozeß vorgesehen. Die angelieferten ELG werden in der Regel ohne Zeitverzug nach unter Tage verbracht. Soll auch bei Anwendung von Überwachungsmaßnahmen ein kontinuierlicher Einlagerungsprozeß gewährleistet werden, so erfordert dies, daß Identität und Integrität der ELG in situ ohne großen Zeitaufwand zu verifizieren sind. Diese Forderung muß bei der Auslegung der äußersten Schale des ELG, der Zusatzabschirmung, berücksichtigt werden.

Auslegungskriterien für die Zusatzabschirmung sind z.B.:

- homogener Behälter mit möglichst nur einer Öffnung,
- Behälter aus einem Material, so daß Öffnen und Wiederverschließen des Containments nicht möglich ist, ohne sichtbare Spuren zu hinterlassen,
- Behälter ohne Schutzanstrich, so daß eine Prüfung der Behälterwandungen direkt möglich ist.

An dem Behälter sollten entsprechende Vorrichtungen vorgesehen sein, um Körper und Deckel miteinander versiegeln zu können. Für den Siegelmechanismus sollten Vorrichtungen zum Schutz gegen mechanische Beanspruchungen auf dem Transport vorgesehen werden.

Die Versiegelung sollte in jedem Fall redundant ausgelegt werden, da ansonsten bei Zweifel an der Identität oder Integrität des Siegels ein Rücktransport in die Konditionierungsanlage und ein Öffnen des Behälters und erneutes Verifizieren des Kernmaterialinhalts erforderlich wird. Diese redundante Siegelmaßnahme sollte sehr robust gegen alle denkbaren Störeinflüsse sein. Vorstellbar wären hierzu z.B. mehrere auf dem Umfang verteilte Schweißnahtstücke quer zur Deckelfuge des Behälters. Während für das primäre Siegel das Auslegungskriterium die Möglichkeit der Verifizierung in situ ist, muß dieses Kriterium bei der back-up-Maßnahme ggf. zugunsten der Robustheit zurückgestellt werden. Erfordert die back-up-Versiegelung einen größeren Zeitaufwand für die Verifizierung, so ist dies ggf. bei der Kapazitätsauslegung des oberirdischen Pufferlagers zu berücksichtigen.

Derzeit in Gebrauch sind bei der IAEA zwei Typen von Siegeln, Papiersiegel und Metallsiegel. Die Papiersiegel bestehen aus gummiertem Siegelpapier und sind mit Schlitz versehen, die ein Abziehen und Wiederanbringen des Siegels ohne es zu zerstören, erschweren und zeitaufwendig machen. Sie sind für den Kurzzeitgebrauch konzipiert. Nachteilig ist jedoch die schwierige Handhabung und insbesondere die leichte Verletzbarkeit beim Transport der versiegelten Behälter. Anwendung im Endlager ggf. für Kurzzeltaufgaben.

Die Metallsiegel (Typ E) bestehen aus zwei metallischen Halbschalen, die beim Zusammendrücken so ineinander einrasten, daß ein Öffnen ohne Zerstörung des Siegels so gut wie unmöglich ist. Ein spezieller Siegeldraht wird durch zwei Löcher einer Halbschale durchgeführt und innerhalb der Schale verknotet. Durch das Aufsetzen der zweiten Halbschale wird der Knoten unzugänglich und das Siegel damit geschlossen. Dieses Metallsiegel hat den Vorteil der leichten und einfachen Handhabung, jedoch kann seine Verifizierung nur im Labor bei der IAEA erfolgen. Die Verifikation des Siegels verzögert sich dadurch in der Regel um mehrere Wochen. Das Metallsiegel kann ggf. als back-up-Siegelmaßnahme für die ELG eingesetzt werden.

In situ überprüfbare Siegel gehören derzeit noch nicht zu den standardmäßig eingesetzten CS-Maßnahmen. Es sind jedoch einige Geräte in einem fortgeschrittenen Entwicklungs- bzw. Teststadium, die eine Verfügbarkeit in absehbarer Zeit erwarten lassen, wie z.B:

- Faseroptiksiegel
- Elektronische Siegel
- Schweißnahtsiegel.

Bei den Fiber-optischen Siegeln werden die Enden einer Lichtleiterschleife rechtwinklig oder überkreuzend zusammengeführt und mit einem Gehäuse umgeben. Die Anordnung der einzelnen Fasern ergibt ein eindeutiges Anordnungsbild, das über ein Mikroskop fotografiert und mit früheren Bildern verglichen oder mit einer elektronischen Abfrageeinheit ausgewertet werden kann.

Bei den elektronischen Siegeln wird ein Lichtleiter mit Hilfe statistisch generierter Lichtimpulse überwacht und eine Unterbrechung des Lichtleiters, bei den VACOSS-Geräten mit Angabe von Datum und Uhrzeit, registriert. Die Abfrage des Siegels erfolgt über eine Adapterbox oder ggf. über eine Fernabfrageeinrichtung. Die elektronischen Siegel sind wiederverwendbar.

Bei Schweißnähten bestehen Unterscheidungsmerkmale, die sich für eine Identitätsprüfung eignen, in der Schmelzkonfiguration sowie in der Seitenkerblinie der Naht. Die Verifikation der Naht kann auch auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen:

- Herstellen und Vermessen eines Abdruckes (Mikroskop),
- fotografisch,

Die Anwendbarkeit von Schweißnahtsiegeln müßte jedoch noch praktisch erprobt werden.

4.3.3.2 Optische Sensoren

Optische Sensoren sind erforderlich, um potentielle Entwendungswege auf nicht deklarierte Materialrückflüsse zu überwachen. Dabei sind folgende Gegebenheiten zu beachten:

- Beleuchtung

Eine Notstromversorgung ist für die untertägigen Anlagen nicht vorgesehen. Für die Überwachungsinstrumentierungen muß daher in jedem Falle eine eigene unabhängige Notstromversorgung installiert werden. Um ggf. auf eine Notbeleuchtung verzichten zu können, sollte der Einsatz von Restlicht- oder Infrarotkameras geprüft werden.

- Aufzeichnungsintervalle

Um eine Abzweigung bei Einzelbildbetrieb erkennen zu können, müßte die Bildfrequenz größer sein als die zum Durchfahren des Kamerasichtfeldes minimal benötigte Zeit. Da diese im Bereich von wenigen Minuten angenommen werden muß, würde dies zu einer relativ hohen Bildfrequenz und hoher erforderlicher Aufzeichnungskapazität führen. Darüberhinaus ergibt sich bei diesem Verfahren das Problem, daß, wenn nur ein oder sehr wenige Bilder zur Beurteilung eines Vorganges zur Verfügung stehen, eine eindeutige Interpretation des Vorganges oft nicht vorgenommen werden kann.

Da im Sichtbereich der Kameras Aktivitäten in der Regel nur sporadisch auftreten und von relativ kurzer Dauer sind (Transportvorgänge), erscheint die Installation von Bewegungsmeldern (Motion detector) am günstigsten. Diese Bewegungsmelder sind elektronische Kameras, die Bilder nur dann aufzeichnen, wenn sich der Bildinhalt verändert. Da der Transport eines ELG aufgrund dessen Dimensionen in jedem Fall eine

großflächige Bildänderung hervorruft, dürfte die Auslösung der Bildaufzeichnung durch ELG-Transporte sicher gewährleistet sein.

Alternativ denkbar wäre die permanente Überwachung mit TV-Kameras und Monitoren in einer Überwachungszentrale. Dies wäre jedoch erheblich aufwendiger, da dann auch eine permanente Besetzung der Zentrale rund um die Uhr erforderlich ist.

Filmkameras scheinen für den Einsatz im Endlagerbergwerk wenig geeignet, da hier bewegungsauslösende Bildspeicherung nicht möglich ist. Bei der hohen erforderlichen Bildfrequenz für Einzelbildverfahren würde damit ein unverhältnismäßig großer Aufwand für die Bildauswertung anfallen.

Bei der IAEO im Einsatz sind derzeit zwei optische Überwachungssysteme, die Twin-Minolta-Kameras und die Psychotronic-TV-Kameras. Die Twin-Minolta-Units bestehen aus zwei identischen, in einem Gehäuse untergebrachten Schmalfilmkameras, die mit einem einstellbaren Zeitintervall Einzelbilder aufnehmen. Diese Einheiten werden bevorzugt zur Überwachung der Naßlagerbecken in LWR-Anlagen eingesetzt.

Die Psychotronic-TV-Kameras werden, da sie große Zuverlässigkeitsprobleme aufweisen, nur in speziellen Anwendungsfällen eingesetzt. Es befinden sich jedoch auch hier eine Reihe von fortgeschrittenen TV Kameraüberwachungssystemen in der Entwicklung bzw. in der Testphase, so daß auch hier grundsätzlich von der Verfügbarkeit geeigneter Geräte in absehbarer Zukunft ausgegangen werden kann.

4.4 Abzweigungs- und Mißbrauchsanalyse

4.4.1 Betriebsphase

4.4.1.1 Modell 1 (Inspektor hat keinen Zugang zu den untertägigen Anlagen)

Die einfachste Möglichkeit einer Abzweigung besteht auf dem Transportweg von der Konditionierungsanlage zum Endlager. Sie wäre jedoch durch die aufgeführten Maßnahmen auch leicht zu entdecken. Wenn Zählen, Identitäts- und Integritätsprüfung als sehr sichere Maßnahmen angesehen werden müssen, so bietet eine Abzweigung nach dieser Prüfung eine höhere Wahrscheinlichkeit unentdeckt zu bleiben. Für die Überwachungsbehörde muß die Strategie darin bestehen, diese Maßnahme im letztmöglichen Moment durchzuführen, um dem Betreiber eine heimliche Abzweigung zu erschweren. Hat der Inspektor Zugang nach unter Tage, so wird er die Prüfung auch erst dort vornehmen. Die Prüfungen über Tage dienen dazu, ELG, deren Identität oder Integrität nicht zweifelsfrei festgestellt werden kann, erst gar nicht nach unter Tage zu bringen.

Identitäts- und Integritätsprüfungen müssen zuverlässig und verfälschungsindizierend möglich sein. Ansonsten hätte der Betreiber die Möglichkeit, ELG auf dem Transport gegen Dummies auszutauschen und dies, wenn es vom Inspektor bemerkt wird, als Versagen des Siegelgerätes zu deklarieren. Da zur Verifizierung ein Rücktransport in die Konditionierungsanlage erforderlich ist, könnte der Betreiber auf dem Rücktransport den Dummy wieder gegen das ursprüngliche ELG austauschen, um so seinen Abzweigungsversuch zu verschleiern.

Die Abzweigungsmöglichkeiten über Tage vor Einbringen der ELG in das Bergwerk bestehen in folgenden Tätigkeiten

- ersatzloses Entwenden ganzer ELG
- Austausch von ELG gegen Dummies (= ELG ohne Kernmaterial)
- heimliches Öffnen von ELG, Entnahme von Kernmaterial.

Diese Abzweigungsmöglichkeiten sind zu entdecken durch:

- Zählen der ELG
- Identitätsprüfung der ELG und
- Integritätsprüfung der Behälter.

Diese Prüfungen setzen voraus, daß die Zusatzabschirmung der Behälter so konstruiert ist, daß jede Integritätsverletzung durch Inaugenscheinnahme offensichtlich wird. Dieses Ziel dürfte mit dem vorgesehenen Gußbehälter erreicht werden können. Der Behälter besitzt konstruktionsmäßig zwei Öffnungen, die mit je einem Siegel gesichert werden. Wird der Behälter an anderer Stelle aufgetrennt, so ist zum Wiederver-schließen eine Schweißung erforderlich, die bei einer optischen Kontrolle der Behälterwandungen entdeckt würde.

Wenn die Forderungen

- verfälschungssichere und in situ verifizierbare Siegel für die Deckel- und Bodenöffnungen des Behälters und
- eindeutige Integritätsprüfung der Behälterwandungen durch optische Kontrolle (ggf. ist auch eine Versiegelung der Neutronenschutzabdeckung der verlorenen Abschirmung erforderlich)

für die ELG erfüllt werden können, so ist eine Abzweigung über Tage mit großer Sicherheit auszuschließen. Vor Einbringen in den Schacht werden die ELG gezählt und geprüft. Bei der Überprüfung müßten dann

- fehlende ELG
- Dummies und
- heimlich geöffnete ELG

offensichtlich werden können. Bis zum Verbringen nach unter Tage verbleiben die ELG unter optischer Überwachung (human surveillance oder Kamera).

Welche Abzweigungsmöglichkeiten für nach unter Tage verbrachte ELG existieren, hängt sehr stark davon ab, welchen technischen Aufwand ein potentieller Abzweiger bereit ist in Kauf zu nehmen, um die Abzweigung durchführen zu können. Da unter Tage keine heiße Zellenanlage existiert, die zum Disassemblieren der ELG und Neuverpacken des Kernmaterials erforderlich wäre, kann das Kernmaterial bei einer unterstellten Abzweigung nur in Einheiten, die mindestens das Ausmaß eines ELG haben, nach oben transportiert werden. Wenn die Förderanlagen der Schächte mit optischen Geräten überwacht werden, dürfte das Zutagefördern von Gegenständen mit diesen Dimensionen in jedem Fall erkannt werden können.

4.4.1.2 Modell 2 (limitierter Zugang des Inspektors zu den untertägigen Anlagen)

Während bei Modell 1 der Inspektor keinerlei Möglichkeiten hat, den Endlager-Gebindefluß unter Tage zu verifizieren, werden in Modell 2 strategische Punkte eingerichtet, um den Gebindefluß bis zum Einlagerungsort zu überwachen. Da sich der Untertagetransport über mehrere Kilometer erstreckt, ist eine kontinuierliche Überwachung sehr aufwendig. Überwacht werden jeweils die Punkte, an denen die Gebinde von einem Transportmittel auf ein anderes umgeladen werden, da hier die Möglichkeit der Substitution der ELG durch Dummies am einfachsten zu bewerkstelligen wäre. Diese Punkte sind (vergl. Bild 4-2)

- SP-A Strategischer Punkt Füllort an Schacht 2 (nicht auf der Abbildung)
- SP-B Knotenpunkt Richtstrecke - Einlagerungsquerschlag
- SP-C Knotenpunkt Einlagerungsquerschlag - Einlagerungsstrecke

Als Alternative bzw. als Ergänzung kann eine erneute Verifizierung der ELG am Einlagerungsort vorgesehen werden. Diese Verifizierung kann entweder personell, d.h. durch den Inspektor, oder durch eine verfälschungssicher registrierende CS-Instrumentierung erfolgen.

Mit einer untertägigen optischen Überwachungsinstrumentierung kann die Glaubwürdigkeit des Überwachungskonzeptes wesentlich erhöht werden. Mit diesen Einrichtungen wird sichergestellt, daß die vorhandenen Transportwege nicht zu einer Abzweigung genutzt werden können. Wesentliche Bedeutung kommt dabei den Kameras an den Punkten B zu. Mit ihnen wird überwacht, daß die ankommenden Endlagergebinde tatsächlich auf die Einlagerungsmaschine umgeladen und zum Einlagerungsquerschlag transportiert werden. Darüber hinaus kann diese Kamera auch die Versiegelung der bereits verfüllten Einlagerungsfelder beobachten. Die Kameras an den Punkten C im Einlagerungsquerschlag stellen sicher, daß nicht vom Einlagerungsquerschlag aus eine Verbindung zur darüberliegenden Erkundungsebene geschaffen wird, in die dann ELG gebracht werden, sondern daß sie tatsächlich in die Einlagerungsstrecken transportiert werden. Ein Beobachten der Einlagerungsstrecke selbst erscheint wenig sinnvoll, da erstens jeweils mindestens zwei Einlagerungsstrecken in Betrieb sind und zweitens ein häufiges Umsetzen der Kamera erforderlich wäre. Eine Abzweigung aus der Einlagerungsstrecke ohne Rücktransport in den Einlagerungsquerschlag erscheint wenig plausibel, da von den Einlagerungsstrecken keine Verbindung zur Erkundungsebene besteht.

Bei diesem Überwachungsmodell kann glaubwürdig nachgewiesen werden, daß die ELG tatsächlich an den Einlagerungsort transportiert werden, die Einlagerungsstrecken ordnungsgemäß verfüllt und versiegelt werden und die Versiegelung der Strecken und Felder nicht wieder geöffnet wird. Erforderlich ist ein Umsetzen der Überwachungskameras, spätestens dann, wenn der Einlagerungsbetrieb in einem neuen Feld aufgenommen wird. Dieses Umsetzen macht ein Reverifizieren der Instrumentierung erforderlich.

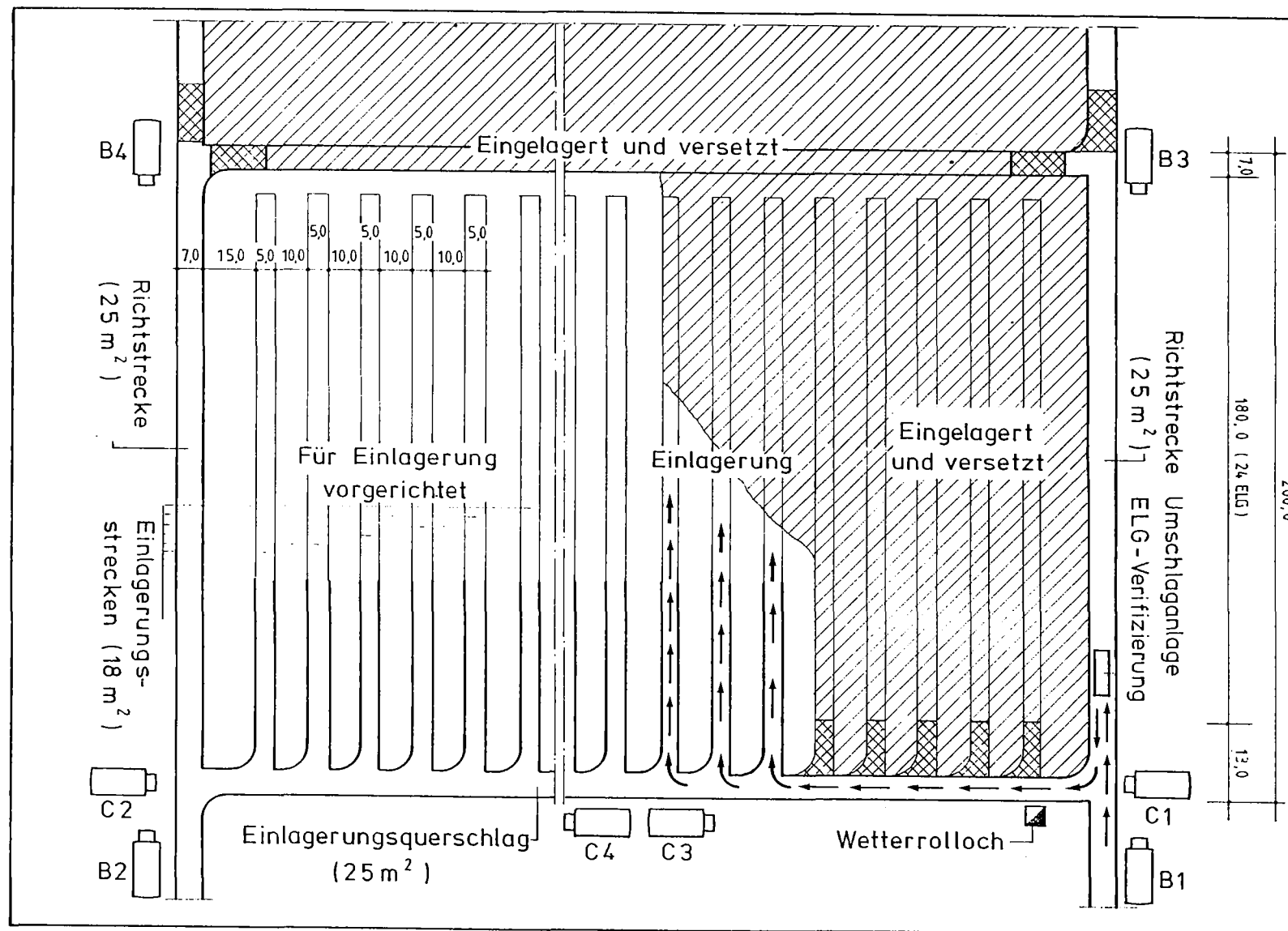


Bild 4-2: Strategische Punkte im Einlagerungsfeld

4.4.1.3 Modell 3 (Inspektor hat unbeschränkten Zugang zu allen untertägigen Anlagen)

Auch wenn dem Inspektor ein limitierter Zugang zu strategischen Punkten unter Tage gewährt wird, enden die Überwachungsmöglichkeiten spätestens dann, wenn das ELG versetzt bzw. die Strecke verdämmt ist. Das Wiedererbrechen des Dammes wäre für den Betreiber zwar voraussichtlich die einfachste, aber nicht einzige Möglichkeit, eine Abzweigung durchzuführen. Mit dem unter Tage vorhandenen Gerät ist es ihm möglich, einen zusätzlichen Zugang zum Material freizulegen und den Streckenabschlußdamm dabei zu umgehen.

Schließt man das Vorhandensein einer untertägigen heißen Zellenanlage nicht aus, so könnte das Kernmaterial der ELG theoretisch in nahezu beliebig kleine, unverdächtige Behälter umgepackt und z.B. im Abraum getarnt nach oben geschafft werden. Ggf. könnte sogar eine Wiederaufarbeitung des Materials unter Tage erfolgen, so daß dann nur noch das strategische Material ohne Ballast nach über Tage geschafft werden müßte. Die Aufgabe, alle Material und Abraumtransporte nach über Tage auf verstecktes Kernmaterial hin zu untersuchen, muß u.E. als undurchführbar eingestuft werden. Wird diese Abzweigungsmöglichkeit als realistisch und damit als zu erfassende Abzweigungsstrategie betrachtet, so sollten entsprechende Überwachungsmaßnahmen jedoch eher in der Überprüfung des Anlagendesigns ansetzen. Die permanente Prüfung des Anlagendesigns ist aus gegenwärtiger Sicht die umfassendste Möglichkeit, Abzweigungen unter Tage ausschließen zu können. Sie erfordert jedoch, daß die Inspektoren jederzeit Zutritt zu allen untertägigen Anlagen haben. Dies schließt außer dem ELG-Lagerbereich auch den Infrastrukturbereich (Werkstatt, Bunker, gesamte Erkundungsebene etc) und den Abfallgebinde-Lagerbereich ein. Der Inspektor muß sich davon überzeugen, daß diese Anlagen bestimmungsgemäß genutzt und nicht für eine Abzweigung mißbraucht werden, und daß es daneben offensichtlich keine weiteren, nicht deklarierten Anlagen gibt.

4.4.2 Nachbetriebsphase

Wesentlich für die Überwachung in der Nachbetriebsphase ist zunächst, daß sich die Behörde davon überzeugt, daß das Bergwerk ordnungsgemäß verschlossen wird. Dies bedeutet auch, daß die Nachbetriebsphase erst beginnt, wenn sowohl ELG-Einlagerung sowie Abfallgebinde-Einlagerung abgeschlossen sind. Eine Abzweigung in der Nachbetriebsphase könnte erfolgen durch:

1. Niederbringen einer gezielten Bohrung direkt zu den eingeschlossenen ELG mit dem Ziel einzelne oder wenige ELG nach oben zu holen, oder
2. durch heimliches Eröffnen eines neuen Zuganges zu dem eingelagerten Material aus größerer Entfernung.

Die unter 1 genannte Abzweigungsmöglichkeit ist zumindest als technisch äußerst schwierig einzustufen. Als Überwachungsmaßnahme wird die Kontrolle des Geländes durch Inaugenscheinnahme vorgeschlagen.

Die zweite Möglichkeit, die Freilegung eines neuen Zugangs aus großer Entfernung, wäre die bei weitem aufwendigste und zeitraubendste Abzweigungsmöglichkeit. Sie erfordert das Auffahren neuer Schächte. Inwieweit sie praktisch überhaupt durchführbar wäre, müßte noch durch Untersuchungen geklärt werden.

4.4.3 Effektivitätsbewertung

Modell 1 geht von folgenden Voraussetzungen aus, die für das Überwachungsmodell als gegebene Tatsachen angenommen und nicht weiter geprüft werden:

- Es existiert keine heiße Zellenanlage unter Tage.
- Es gibt keine andere Verbindung von den untertägigen Anlagen nach über Tage außer den überwachten Schächten.
- Ein Mißbrauch des Kernmaterials innerhalb der untertägigen Anlagen (internal diversion) ist ausgeschlossen, da EURATOM Zugang hat.

Bei rein technischer Betrachtung liegt die Schwäche dieses Überwachungsmodells ganz eindeutig darin, daß der Komplex clandestine facilities per Definition nicht berücksichtigt wird. Dabei ist zu beachten, daß der Einlagerungsbetrieb nur einen geringen Teil der Gesamthandhabungsaktivitäten im Endlager darstellt. Parallel zur Einlagerung werden sowohl im ELG-Lager-Bereich wie auch im Abfallgebinde-Bereich ständig neue Felder aufgefahren. Dies ist zwangsläufig mit umfangreichen Abraum- und Materialtransporten verbunden. Hier würde auch das Prinzip der Offensichtlichkeit nicht greifen, da für den nur über Tage beobachtenden Inspektor die Untertageaktivitäten nicht transparent sind. Auch die Designverifizierung vor Aufnahme des Einlagerungsbetriebes hat nur eine recht begrenzte Beweiskraft, da sich der Ausbau der untertägigen Anlagen permanent ändert.

Für die Gesamtbewertung dieses Überwachungsmodells muß dieses technische Defizit jedoch in Relation zu anderen Einflußgrößen gesehen werden. Solche Einflußgrößen sind z.B. Menge, Rückgewinnbarkeit und strategischer Wert des eingelagerten Materials. Der Attraktivität, die dieses Material für einen potentiellen Abzweiger besitzt, muß der technische und organisatorische Aufwand entgegengestellt werden, der zur Durchführung einer heimlichen Abzweigung erforderlich wäre. Die technische Machbarkeit einer Abzweigung mit Hilfe heimlicher, unterirdischer Anlagen kann sicherlich nicht prinzipiell ausgeschlossen werden. Die Chancen, eine heimliche Abzweigung erfolgreich auf diesem Weg durchführen zu können, müssen jedoch, insbesondere auch im Hinblick auf den supranationalen Charakter der staatlichen Überwachung (EURATOM), als äußerst gering eingestuft werden.

Modell 2 bringt gegenüber Modell 1 keine prinzipiellen, sondern, wenn auch im erheblichen Ausmaß, nur graduelle Verbesserungen. Auch hier kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, daß es heimliche Anlagen gibt, über die eine Abzweigung erfolgt. Eine Abzweigung wäre bei diesem Modell möglich, indem vom Werkstattbereich aus oder vom Abfall-Lager her ein Zugang zu den bereits eingelagerten ELG eröffnet wird.

In Modell 3 wird daher den Inspektoren praktisch die Möglichkeit einer jederzeitigen design-Reverifikation eingeräumt. Zwar wird hierdurch für einen potentiellen Abzweiger die Entdeckungsgefahr für nicht deklarierte Anlagen erheblich vergrößert, jedoch ist diese Möglichkeit auch dabei nicht mit Sicherheit auszuschließen.

Bislang betrachtet bei den Überwachungsmodellen wurde die technische Realisierbarkeit einer Abzweigung. Für eine Abzweigung erforderlich wären in jedem Fall untertägige Anlagen zur Disassemblierung von ELG und zum Neuverpacken von Kernmaterial in unverdächtige Gebinde, die getarnt im Abraum oder in Ausrüstungsgegenständen nach oben geschafft werden können. Wesentlich aufwendiger und mit noch größerer Entdeckungsgefahr verbunden wäre die Einrichtung einer untertägigen Wiederaufarbeitungsanlage. Soweit bislang abzusehen ist, gibt es jedoch keine technischen Überwachungsmaßnahmen, mit denen diese Abzweigungsmöglichkeiten prinzipiell ausgeschlossen werden. Diese Abzweigungsmöglichkeiten müssen, wenn auch unter Inkaufnahme eines immensen Aufwandes, als technisch machbar eingestuft werden.

Die für die Nachbetriebsphase diskutierten Abzweigungsszenarien wären grundsätzlich auch in der Betriebsphase anwendbar; sie erfordern jedoch einen größeren Aufwand und sind mit einem höheren Entdeckungsrisiko behaftet.

Für das Niederbringen einer gezielten Bohrung müßte zuerst der minimale Zeitbedarf bestimmt werden, der zum Niederbringen der Bohrung, zum Zutagefördern des oder der ELG und zum Verwischen der Spuren erforderlich wäre. Dieser Zeitbedarf bestimmt das Inspektionsintervall für die Überwachungsmaßnahmen. Als Überwachungsmaßnahme vorgesehen wird die Inspizierung des Geländes durch Inaugenscheinnahme. Da das Niederbringen einer entsprechenden Bohrung umfangreiche technische Vorkehrungen erfordern würde, müßten diese Anzeichen bei einer Geländeinspektion mit großer Sicherheit erkannt werden können.

Noch aufwendiger dürfte das heimliche Teufen neuer Schächte zur Rückholung des eingelagerten Materials sein. Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, das Flächenausmaß festzulegen, daß der Überwachung unterworfen werden soll. Wenn diese Abzweigungsmöglichkeit als realistisch erachtet werden sollte, gegen die dann auch entsprechende Überwachungsvorkehrungen getroffen werden müßten, so dürfte auch hier Geländeinspektion eine geeignete Maßnahme sein.

Als prinzipielle Schwierigkeit ergibt sich bei allen Modellen die Frage, wie die Wirksamkeit der Containmentüberwachung in der Betriebsphase bzw. die Überwachung des Geländes in der Nachbetriebsphase quantifiziert werden kann. Bei ausschließlich technischer Betrachtungsweise ist dieses Problem nicht lösbar, da im Endlagerbergwerk jede Überwachungsmaßnahme grundsätzlich bei Steigerung des Abzweigungsaufwandes unterlaufen werden kann. Als unter technischen Gesichtspunkten sicher kann keine Überwachungsmaßnahme eingestuft werden.

4.5 Effektivitätsbewertung und Schwachstellenanalyse des Safeguards-systems

4.5.1 Phase 1 - Transport über Tage

Diese Phase beginnt beim Ausgang der ELG aus der Konditionierungsanlage und endet mit dem Beginn der Schachtfahrt dieser ELG im Endlager. Sie umfaßt damit den gesamten übertägigen Aufenthalt der ELG. Mögliche Abzweigungsstrategien in der oberirdischen Transportphase der ELG bestehen in:

- ersatzlosem Entwenden von ELG
- Austausch ELG gegen Dummy und
- heimlichem Öffnen von ELG und Entnahme von Kernmaterial.

Die vorgesehenen Überwachungsmaßnahmen (siehe Tabelle: 4-3) sind für diese Phase für alle drei Überwachungsmodelle identisch. Sie bestehen im Zählen der ELG, in der Identitätsprüfung und in der Integritätsprüfung. Die Identitätsprüfung erfolgt anhand von verfälschungssicheren Unterscheidungsmerkmalen der äußersten Umhüllung eines ELG. Diese Aufgabe wird von der Siegeleinrichtung wahrgenommen, mit der Körper, Deckel und Boden der Zusatzabschirmung miteinander versiegelt werden. Damit die Verifizierung des Siegels möglichst unmittelbar vor dem Transport des ELG nach unter Tage erfolgen kann, muß es ohne zeitaufwendiges Auswertungsverfahren vor Ort durch Inspektion oder Abfrage verifizierbar sein. Diese Aufgabe kann z.B. durch ein elektronisches Siegel erfüllt werden.

Alle ELG, die die Konditionierungsanlage verlassen, müssen innerhalb einer bestimmten Frist diese Prüfprozedur durchlaufen. Damit ist die Vollständigkeit der Überwachung in der übertägigen Transportphase gewährleistet. Nach der Siegelprüfung werden die ELG ohne weiteren Zeitverzug in den Förderkorb gefahren. Es hängt von den konkreten

baulichen Gegebenheiten der Übertageanlagen ab (die derzeit noch nicht bekannt sind), ob für diesen Zeitraum weitere Maßnahmen gegen einen potentiellen Austausch der ELG getroffen werden müssen. Ist z.B. nicht mit Sicherheit auszuschließen, daß die ELG ohne Kenntnis des Inspektors zur Umschlagsanlage zurückgefahren und dort gegen Dummies ausgetauscht werden können, so könnte dieser Zeitraum durch Labeln der ELG mit einem Papiersiegel überbrückt werden.

Die vorgesehenen Maßnahmen (Identitäts- und Integritätsprüfung) dürften auch hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit und Eindeutigkeit keine größeren Probleme aufwerfen, da beide beliebig oft wiederholbar sind. Eine Beeinträchtigung durch Transportbeanspruchung ist höchstens für das Siegel anzunehmen. Hier sollte als Ersatzmaßnahme diversitäre Redundanz vorgesehen werden, d.h. z.B. ein robustes mechanisches Siegel parallel zu einem elektronischen Siegel. Sollte in Ausnahmefällen eine eindeutige Prüfung der ELG z.B. aufgrund von Transportschäden an den Siegeln nicht mehr möglich sein, so verbleibt in dieser Phase immer noch die Möglichkeit, diese ELG in die Konditionierungsanlage zurückzubringen und dort erneut zu messen. Der Rücktransport nach Transportunfällen dürfte voraussichtlich sowieso erforderlich sein.

Wenn die Vollständigkeit der Überwachung als gegeben angenommen werden kann, verbleiben als Parameter, die die Effektivität beeinträchtigen könnten, die Verfälschungssicherheit und die Überlistbarkeit der Überwachungsmaßnahmen. Diese Größen lassen sich jedoch durch die Auslegung der äußersten Umhüllung der ELG und durch die Auswahl des bzw. der Siegel beeinflussen. Hier sind auf der Basis des gegenwärtigen Kenntnisstandes keine größeren Schwierigkeiten abzusehen. Damit kann u.E. in der Phase des Übertagetransportes der ELG eine ausreichende Überwachung gewährleistet werden.

4.5.2 Phase 2 - Transport unter Tage

Diese Phase beginnt mit der Schachtfahrt der ELG und endet beim Verfüllen der mit ELG bereits bestückten Streckenabschnitte. Sie umfaßt damit den gesamten Zeitraum, in dem das ELG unter Tage für direkte Beobachtung bzw. der Verifizierung der Identität sowie der Integrität seiner Umhüllung zugänglich ist.

Eine Abzweigung von Kernmaterial in dieser Phase erfordert zwei Schritte. Zunächst müßten ELG aus dem normalen Betriebsablauf, d.h. dem Einlagerungsprozeß ausgeschleust und damit der weiteren Überwachung entzogen werden. Dies kann im Prinzip mit den gleichen Abzweigungsstrategien wie in der übertägigen Transportphase erfolgen (siehe Tabelle 4-4).

Der zweite Schritt besteht darin, die ausgeschleusten ELG unbemerkt einer nichtdeklarierten Verwendung zuzuführen (siehe Tabelle 4-5). Dies erfordert eine Weiterverarbeitung der ELG in hierzu geeigneten Anlagen. Für die Überwachung ausschlaggebendes Kriterium ist hierbei, ob der Betreiber das Anlagendesign heimlich verändert, um die ausgeschleusten ELG unbemerkt der Weiterverarbeitung zuführen zu können, oder ob er diese Zuführung über die vorhandenen Transportwege vornimmt. Bei einer Abzweigung ohne Änderung des Anlagendesigns wird ein Rücktransport der ELG über Schacht 1 oder Schacht 2 erforderlich. Unterstellt man auch die Möglichkeit einer Änderung des Anlagendesigns zur Durchführung einer Abzweigung, so ergeben sich theoretisch drei Alternativen:

1. Errichtung einer heimlichen Heiße-Zellen-Anlage unter Tage zum Disassemblieren der ELG und Umpacken des Kernmaterials in kleine, unverdächtige Behälter, die dann mit Material- oder Abraum-Rücktransporten unbemerkt wieder nach über Tage geschafft werden können.

2. Errichtung einer heimlichen untertägigen Anlage zur Separierung des strategischen Materials aus den ELG.
3. Schaffung einer heimlichen zusätzlichen Verbindung nach über Tage, über die ganze ELG oder umgepackte kleinere Materialmengen unbemerkt entnommen werden können.

4.5.2.1 Modell 1

In Überwachungsmodell 1 wird davon ausgegangen, daß heimliche Designänderungen ausgeschlossen werden können. Da der Inspektor in diesem Modell keinen Zutritt nach unter Tage hat, werden unter Tage auch keine Überwachungsmaßnahmen angewendet. Daher könnte der Betreiber den ersten Schritt einer Abzweigung, d.h. das Ausschleusen von ELG aus dem normalen Einlagerungsprozeß, unbemerkt durchführen. Die Vollendung der Abzweigung würde jedoch erfordern, die ELG über Schacht 1 oder 2 wieder nach oben zu transportieren. Abzweigungsstrategien und Überwachungsmaßnahmen sind in den Tabellen 4-4 und 4-5 aufgeführt. Als Überwachungsmaßnahme gegen diese Rücktransporte ist die optische Überwachung der Fördereinrichtungen vorgesehen. Das Entladen von Gegenständen aus den Förderanlagen, die mindestens die Dimensionen eines ELG haben, wäre hierbei die zu beobachtende Anomalie, die eine Abzweigung indizieren könnte. Für Schacht 2 muß jedoch sichergestellt werden können, daß

- der Rücktransport von Gegenständen mit diesen Ausmaßen tatsächlich eine Anomalie bedeutet, d.h. im normalen betrieblichen Ablauf nicht vorkommt und
- dieses Ereignis optisch eindeutig identifizierbar erfaßt werden kann.

Neben den Dimensionen kann auch das Gewicht des Rücktransportes als Anomalieindikator herangezogen werden, da im Normalbetrieb keine

Rücktransporte im Bereich von mehr als 25 t zu erwarten sind (orientiert an Abraum- oder sonstigen normalen betrieblichen Transporten nach über Tage). Hierzu müssen jedoch Förderrichtung und Förderlast verfälschungssicher aufgezeichnet werden können, was über die Stromaufnahme der Fördermaschine möglich sein sollte.

Diese Maßnahme ist für Schacht 1 nicht erforderlich, da ein ELG geometrisch nicht in den Förderkorb paßt. Auch befindet sich an Schacht 1 keine Vorrichtung zum Ausgleich der Seillänge von einigen Metern /4-4/, die beim Anhängen eines ELG an den Förderkorb auftreten würde. Es kann vorausgesetzt werden, daß derart aufwendige Aktionen mit Sicherheit von den optischen Überwachungseinrichtungen erfaßt würden.

Um konkrete Aussagen über die Zuverlässigkeit und Überlistbarkeit dieser Überwachungsmaßnahmen treffen zu können, sind konkrete Daten über die bauliche Gestaltung der Förderanlagen und Gebäude erforderlich, um dann z.B. den Aufstellungsort der Kamera, die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Beschädigung oder Blockieren des Sichtfeldes, Täuschungsmöglichkeiten durch Blendung oder Abschalten der Beleuchtung etc. bestimmen zu können.

Insgesamt müßte diese Überwachungsaufgabe jedoch u.E. als zufriedenstellend lösbar eingestuft werden können. Grob vergleichbare Aufgaben wie z.B. die Brennelementhandhabung in LWR-Naßlagerbecken werden bereits seit Jahren in gängiger Praxis durch optische Überwachung zufriedenstellend gelöst. Unter der Voraussetzung, daß eine nichtdeklarierte Änderung des Anlagendesigns nicht berücksichtigt zu werden braucht, müßte mit Modell 1 in dieser Phase eine effektive Überwachung zu realisieren sein. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so bietet Modell 1 keine vollständige Überwachung aller Abzweigungsmöglichkeiten und wäre damit für die Überwachungsbehörden nicht akzeptabel.

4.5.2.2 Modell 2

In Modell 2 hat der Inspektor Zugang zu strategischen Punkten unter Tage und ist damit in der Lage, auch den Kernmaterialfluß unter Tage zu beobachten. Über Modell 1 hinausgehend wird mit Modell 2 versucht, bereits den ersten Schritt einer Abzweigung, das Ausschleusen von ELG aus dem normalen Betriebsablauf, zu entdecken.

Hierzu ist zunächst an allen Stellen, an denen eine Unterbrechung des kontinuierlichen Transportes wegen Umladens auf ein anderes Transportmedium erforderlich ist, eine optische Überwachung des Umladevorgangs vorgesehen, da an diesen Stellen ein ersatzloses Entwenden oder das Unterschieben eines Dummies am leichtesten zu bewerkstelligen wäre. Der erste dieser Punkte (strategischer Punkt A) ist beim Entladen des Plateauwagens aus dem Förderkorb am Füllort von Schacht 2 gegeben. Hier wird durch die Überwachung sichergestellt, daß die nach unten geförderten ELG auch tatsächlich in die Einlagerungsebene entladen werden. Den zweiten Überwachungspunkt (strategischer Punkt B) bildet die Umschlagsanlage von Richtstrecke zu Einlagerungsquerschlag. Mit dieser Kamera wird das Umladen der ELG vom Plateauwagen auf die Einlagerungsmaschine beobachtet. Weitere Überwachungseinrichtungen sind im Einlagerungsquerschlag selbst (strategischer Punkt C) vorgesehen. Hiermit kann beobachtet werden, daß die ELG mit der Einlagerungsmaschine in die vorgesehene Einlagerungsstrecke gebracht werden und in dieser verbleiben. Zur Lage der strategischen Punkte B und C siehe Bild 4-2.

Aufgrund der langen Transportwege unter Tage (mehrere Kilometer) würde eine lückenlose Transportüberwachung einen unvertretbar hohen Aufwand erfordern. Da die Transporte sporadisch erfolgen und die Aufenthaltsdauer der ELG im Sichtbereich der einzelnen Kameras ggf. sehr kurz sein kann, sollten diese Überwachungseinrichtungen mit Bewegungsdetektoren ausgerüstet werden. Damit könnten dann alle Bewegungen im Sichtbereich der Kamera lückenlos aufgezeichnet werden, ohne damit für die

bewegungsfreien Zeiten unnötig Bildspeicherkapazität und damit auch Bildprüfaufwand vorsehen zu müssen. Werden gleichzeitig mit den Bewegungen auch Datum und Uhrzeit des Ereignisses aufgezeichnet, so können damit auch Transportverzögerungen, die für ein Manipulieren der ELG oder Austausch in den nicht direkt überwachten Bereichen erforderlich wären, erkannt werden. Dadurch ist ein hohes Maß an Sicherheit dafür gegeben, daß die nach unter Tage transportierten ELG ohne Manipulationen in die vorgesehenen Einlagerungsstrecken gebracht werden.

Als ergänzende oder alternative Maßnahme kann eine erneute Verifizierung der in der Einlagerungsstrecke abgesetzten ELG durch den Inspektor vorgesehen werden. Mit den Kameras an den strategischen Punkten B und C wird darüberhinaus sichergestellt, daß in der Einlagerungsstrecke abgesetzte ELG nicht nachträglich wieder entfernt werden. Dieser Vorgang würde von den Kameras registriert. Ein noch näher zu untersuchendes technisches Problem ist die verfälschungssichere Übertragung der Bilder zu einer Überwachungszentrale, die zweckmäßigerweise über Tage eingerichtet werden sollte.

Zusätzlich über die Möglichkeiten von Modell 1 hinaus kann damit mit Modell 2 sichergestellt werden, daß der vorgesehene Betriebsablauf eingehalten und keine ELG ausgeschleust werden. Primäre Maßnahme ist die optische Überwachung an den strategischen Punkten A, B und C. Als Ersatzmaßnahme bei Kameraausfall und auf Stichprobenbasis zur Verringerung des Restrisikos der Manipulation von ELG in den nicht überwachten Zwischenbereichen, kann eine erneute Verifizierung der in der Einlagerungsstrecke abgesetzten ELG durch den Inspektor erfolgen. Verzögerungen im Betriebsablauf dürften hierdurch nicht verursacht werden, da im Normalfall zwischen Absetzen und Verblasen eine Pausenschicht liegt. Modell 2 dürfte damit in dieser Phase ausreichende Sicherheit dafür bieten, daß bereits der erste Schritt einer Abzweigung, das Ausschleusen von ELG aus dem normalen Betriebsablauf, erkannt werden kann.

Hinsichtlich des zweiten erforderlichen Schrittes für eine erfolgreiche Abzweigung, der Zuführung der ausgeschleusten ELG zu den weiterverarbeitenden Anlagen ist Modell 2 identisch mit Modell 1. (siehe auch Tabellen 4-4 und 4-5). Diese Maßnahme stellt damit eine zusätzliche Barriere für einen potentiellen Abzweiger dar.

4.5.2.3 Modell 3

Modell 3 geht noch über Modell 2 hinaus, indem für den zweiten erforderlichen Schritt der Abzweigung, die Zuführung der ausgeschleusten ELG zu den weiterverarbeitenden Anlagen eine weitere Barriere vorgesehen wird. Diese Barriere besteht in dem den Inspektoren eingeräumten Recht der jederzeitigen Reverifizierung des Anlagendesigns. Diese Maßnahme ist zwar primär auf die nächste Phase gezielt, wirkt sich jedoch schon in Phase 2 als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme aus. Zu beachten ist hierbei, daß die Maßnahmenbündel für Schritt 1 und Schritt 2 nicht alternativ sondern additiv gesehen werden müssen (siehe Tabellen 4-4 und 4-5). Zusätzlich zu den Maßnahmen bezüglich Schritt 1 sind auch die Maßnahmen bezüglich Schritt 2 für eine erfolgreiche Abzweigung zu überwinden.

4.5.3 Phase 3 - Lagerung während der Betriebszeit des Endlagers

Diese Phase umfaßt den Zeitraum nach dem Versetzen der einzelnen mit ELG bestückten Streckenabschnitte bis zum Verfüllen der Schächte des Endlagers, also den Zeitraum, in dem in der Nähe der eingelagerten ELG bergmännische Aktivitäten durchgeführt werden.

Auch in dieser Phase sind für eine erfolgreiche Abzweigung zwei Schritte erforderlich, da die ELG in dieser Phase bereits versetzt

sind, besteht der erste Schritt darin, den Zugriff auf ELG durch Freilegen eines Zuganges zu ermöglichen. Der zweite Schritt ist identisch mit dem zweiten Schritt der vorhergehenden Phase. Strategien und Maßnahmen für diese Phase sind für alle 3 Überwachungsmodelle in den Tabellen 4-6 und 4-7 dargestellt. Die freigelegten ELG müssen den weiterverarbeitenden Anlagen zugeführt werden. Im Unterschied zur zweiten Phase ist jedoch hier in der dritten Phase bereits der erste Abzweigungsschritt durch eine undeklarierte Designänderung möglich. Das Freilegen eines Zugangs zu den bereits verfüllten oder verdämmten Einlagerungsstrecken ist entweder auf dem direkten Weg möglich, indem der Einlagerungsvorgang quasi rückgängig gemacht wird, d.h. ein Wiederauffahren dieser Strecken von den vorhandenen Strecken ausgehend oder indirekt durch die Schaffung neuer geheimer Zugänge von nicht kontrollierten Bereichen aus, z.B. Bunker, Werkstatt, Erkundungsebene oder sogar Abfall-Lagerbereich.

4.5.3.1 Modell 1

Im Modell 1 sind für diese Phase keine neuen Überwachungsmaßnahmen vorgesehen. Es gelten die gleichen Voraussetzungen für die vorangegangene Phase, d.h. daß undeklarierte Änderungen des Anlagendesign ausgeschlossen werden. Eine Abzweigung wird beim Rücktransport der ELG über die Schachtanlagen erkannt.

4.5.3.2 Modell 2

Modell 2 setzt bereits beim ersten Schritt der Abzweigung an, der Freilegung des Zugangs zu den ELG. Dazu wird der Wirkungsbereich der für Phase 2 vorgesehenen Maßnahmen ausgedehnt. Mit den an den strategischen Punkten installierten Überwachungseinrichtungen können auch die Unversehrtheit der Streckenabschlüsse kontrolliert und Material-

rückholungen über diesen Pfad beobachtet werden. Als Ersatzmaßnahme bei Kameraausfall und auf Stichprobenbasis als unterstützende Maßnahme ist die personelle Prüfung der Streckenabschlüsse durch Inaugenscheinnahme vorgesehen.

Mit diesen Maßnahmen kann eine Abzweigungsstrategie des ersten erforderlichen Abzweigungsschrittes erkannt werden. Nicht zu entdecken ist mit den in Modell 2 vorgesehenen Maßnahmen das Freilegen eines geheimen Zuganges unter Umgehung der Versiegelung. Als Schutz gegen diese Abzweigungsstrategie werden daher in Modell 3 weitere Maßnahmen diskutiert.

4.5.3.3 Modell 3

Eine permanente Design-Reverifizierung auf Stichprobenbasis für alle untertägigen Anlagen ist in Modell 3 vorgesehen. Um die Freilegung der ELG geheimhalten zu können, wird ein potentieller Abzweiger diesen Versuch von Bereichen aus vornehmen, zu denen die Inspektoren keinen Zutritt haben. Diese Abzweigungsstrategie läßt sich daher am wirkungsvollsten dadurch unterbinden, daß den Inspektoren unbeschränkter Zugang zu allen Anlagen des Endlagerbergwerks gewährt wird. Die Inspektoren müssen sich davon überzeugen können, daß es innerhalb des Endlagerbergwerks keine nichtdeklarierten Verbindungen oder Anlagen gibt und daß nur Einlagerungsaktivitäten durchgeführt werden. Die permanente Design-Reverifizierung ist eine Überwachungsmaßnahme, die sowohl für den ersten als auch für den zweiten erforderlichen Abzweigungsschritt greift. Sie stellt damit u.E. die umfassende Sicherheitsmaßnahme gegen nichtdeklarierte Tätigkeiten dar, ist jedoch in ihrer Effektivität nur schwer zu quantifizieren.

Phase 1: Transport über Tage

Ausgang Konditionierungsanlage – Beginn der Schachtfahrt

| Abzweigungs- strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|----------------------------|--|----------|----------|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| Entwenden ganzer ELG | Zählen der ELG | | |
| Austausch ELG-Dummy | Bei Eingang in MBZ Siegelverifikation und ELG-Integritätsprüfung anschließend optische Überwachung | | |
| Entnahme von KM aus ELG | Bei Eingang in MBZ ELG-Integritätsprüfung anschließend optische Überwachung | | |

Effektivität: Akzeptabel

Tab. 4-3: Überwachungsmaßnahmen in Phase 1 – Transport über Tage

Phase 2: Transport unter Tage

Beginn der Schachtfahrt – Verblasen vor Ort

| Abzweigungs- strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|---|-----------------------|---|----------|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| 1. Schritt: Ausschleusen von ELG oder KM aus dem Betriebsablauf | | | |
| a) Entwenden ganzer ELG | ———— | Zählen der ELG | |
| b) Austausch ELG-Dummy | } | Transportüberwachung mit TV-Kamera an SP A, B und C <i>und/oder</i> stichprobenweise Siegelverifikation und ELG-Integritätsprüfung vor dem Versetzen <i>und</i> Überwachung der potentiellen Entwen- dungswege mit TV-Kamera an SP B und C | |
| c) Entnahme von KM aus ELG | | | |

Tab. 4-4: Überwachungsmaßnahmen in Phase 2 – 1. Abzweigungsschritt

Phase 2: Transport unter Tage

Beginn der Schachtfahrt – Verblasen vor Ort

| Abzweigungs- Strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|---|---|----------|---|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| 2. Schritt: a) ELG-Rücktransport nach über Tage getarnt als Abraum oder Material b) HZ-Anlage unter Tage Umpacken des KM in unverdächtige Behälter, Rücktransport durch vorhandene Schachtanlage c) WA-Anlage unter Tage d) Heimliche Verbindung nach über Tage | TV-Kamera an beiden Schächten, Fahrt- und Lastschreiber an Fördermaschine von Schacht 2 (25t-Kriterium) | | |
| | _____ | _____ | Permanente Design-Reverifikation aller unter Tage-Anlagen Prüfung auf <i>nicht</i> deklarierte Design- u. Aktivitätsänderungen |

Effektivität: Akzeptabel, da ELG noch zugänglich

Tab. 4-5: Überwachungsmaßnahmen in Phase 2 – 2. Abzweigungsschritt

Phase 3: Lagerung während der Betriebszeit

Versetzen der ELG – Schließen des Bergwerkes (Verfüllen der Schächte)

| Abzweigungs- strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|--|-----------------------|---|--|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| 1. Schritt: Zugriff auf versetzte ELG | | | |
| a) Freilegen u. Entwen- den der ELG über exi- stierende Transport- wege | | { TV-Kameras an SP B (Streckenab- schluß) und SP C (Einlagerungsquer- schlag) Stichprobenweise Prüfung der Strecken- abschlüsse durch Inspektor | |
| b) Geheimer Zugang un- ter Umgehung der Streckenversiegelung über Erkundungsebe- ne, Abfall-Lager etc. | | | Permanente Design-Reverifi- kation aller unter Tage-Anlagen |

Tab. 4-6: Überwachungsmaßnahmen in Phase 3 – 1. Abzweigungsschritt

Phase 3: Lagerung während der Betriebszeit

Verblasen der ELG – Schließen des Bergwerkes (Verfüllen der Schächte)

| Abzweigungs- strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|---|--|----------|---|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| 2. Schritt: a) ELG-Rücktransport nach über Tage getarnt als Abraum oder Material b) HZ-Anlage unter Tage Umpacken des KM in unverdächtige Behälter, Rücktransport durch vorhandene Schachtanlage c) WA-Anlage unter Tage d) Heimliche Verbindung nach über Tage | TV-Kamera an beiden Schächten, Fahrt- und Lastschreiber an Fördermaschine von Schacht 2 ————— | | |
| | | | Permanente Design-Reverifikation aller unter Tage-Anlagen Prüfung auf <i>nicht</i> deklarierte Design- u. Aktivitätsänderungen |

Eff.: Off. Probleme

Tab. 4-7: Überwachungsmaßnahmen in Phase 3 – 2. Abzweigungsschritt

Phase 4: Nachbetriebsphase nach dem Verfüllen der Schächte

| Abzweigungs- strategie | Überwachungsmaßnahmen | | |
|---|---|----------|----------|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| Gezielte Bohrung oder Teufen eines Schachtes zum Rück- holen einzelner ELG | Optische Überwachung des Geländes durch periodische Begehungen | | |
| Wiedererschließung des La- gers aus größerer Entfernung zur Rückholung vieler ELG | | | |
| Effektivität: Offene Probleme | | | |

Tab. 4-8: Überwachungsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase des Endlagers

4.5.4 Phase 4 - Nachbetriebsphase des Endlagers

Diese Phase beginnt mit dem Schließen des Bergwerks durch die Verfüllung der Schächte und dauert solange an, wie das Material der Safe-guardsüberwachung unterliegt.

Abzweigungen in dieser Phase könnten erfolgen durch:

- Niederbringen einer gezielten Bohrung oder eines Schachtes zum Rückholen eines oder weniger ELG oder
- für eine Abzweigung größerer Mengen durch Wiederauffahren des Lagers z.B. aus einer größeren Entfernung.

Als Überwachungsmaßnahmen vorgesehen sind periodische Inspektionen des Geländes, um die Integrität des verschlossenen Bergwerks zu verifizieren.

Bohr- oder Teufaktivitäten auf dem Bergwerksgelände können bei der Geländeinspektion mit Sicherheit erkannt werden. Die Inspektionsintervalle müßten dazu nur geringer sein als die benötigte Abzweigungszeit, d.h. die benötigte Zeit zum Niederbringen der Bohrung bzw. des Schachtes, Hochholen von ELG und Verwischen der Spuren. Inwieweit ein Wiederauffahren des Bergwerks durch Geländeinspektionen erkannt werden kann, hängt davon ab, aus welcher Entfernung die Wiedererschließung vorgenommen wird. Auch wenn die Wirksamkeit dieser Maßnahme nur schwer zu quantifizieren ist, bildet u.E. die Geländebeobachtung die geeignetste Maßnahme zur Verifizierung der Integrität des stillgelegten Bergwerks.

4.6 Resultierende Problemdefinition

Bei der Anwendung von CS-Maßnahmen ergibt sich als grundsätzliches Problem zu quantifizieren, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Abzweigung durch diese Maßnahmen entdeckt werden kann. Im Gegensatz zur Materialbilanzierung gibt es für den Anwendungsbereich der CS-Maßnahmen noch keine ausgereifte Methode zur Bestimmung der MUF-Werte (Material Unaccounted For). Dieses Problem wird in der Praxis dadurch umgangen, daß mittels CS-Maßnahmen überwachtes Material prinzipiell auch einer direkten Verifizierung durch Messen zugänglich ist, und die Überwachungsbehörden sich diese Option offen halten. Da für das Endlager diese Option nicht mehr gegeben ist, kommt der Quantifizierung der Wirksamkeit von CS-Maßnahmen hier besondere Bedeutung zu.

Die identifizierte Schwachstelle bei der Überwachung des Endlagers ist die begrenzte Möglichkeit, die Integrität einer verfüllten und versiegelten Strecke gegenüber Verletzungen durch heimlich angelegte nichtdeklarierte Zugänge überwachen zu können. Eine Containmentüberwachung, die dem Anspruch der Vollständigkeit genügt, ist für eine Strecke nicht durchführbar. Eine im mathematischen Sinne hinreichende Überwachung ist daher für das eingelagerte Material nicht gegeben. Es sind derzeit auch keine Maßnahmen bekannt oder absehbar, die eine hinreichende Überwachung gewährleisten könnten. Zwar ist nach unserer Überzeugung bei einer permanenten Design-Reverifikation eine Abzweigung mittels heimlicher, nichtdeklarerter Zugänge oder Anlagen praktisch undurchführbar, jedoch kann sie nicht im Sinne einer mathematisch logischen Beweisführung ausgeschlossen bzw. ihre Entdeckungswahrscheinlichkeit bestimmt werden. Genau dies ist jedoch für das Safeguardsystem eine unabdingbare Voraussetzung.

Hinsichtlich des Safeguardskonzepts für das Endlager besteht das Hauptproblem darin, daß sich die Überwachung, sobald das Material eingelagert ist, nur noch auf CS-Maßnahmen abstützen kann. Die Option der direkten Verifizierung ist technisch nicht mehr möglich. Die

vorgesehenen CS-Maßnahmen sind darüberhinaus in ihrer Vollständigkeit und damit Wirksamkeit nicht objektiv quantifizierbar. Damit können, gemessen an der derzeitigen Praxis, für die Überwachungsbehörden die Voraussetzungen für ein anwendbares Safeguardskonzept nicht erfüllt werden.

5 LÖSUNGSANSÄTZE

5.1 Änderungen in der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie

5.1.1 Relativierung der numerischen Entdeckungsziele

Das Ziel der von der IAEA im Rahmen des Verifikationsabkommens anzuwendenden Sicherungsmaßnahmen wird in Art. 28 VA vorgegeben:

"Ziel der in diesem Übereinkommen festgelegten Verfahren der Sicherungsmaßnahmen ist die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung signifikanter Mengen Kernmaterials von friedlichen nuklearen Tätigkeiten für die Herstellung von Kernwaffen und sonstigen Kernsprengkörpern oder für unbekannte Zwecke, sowie die Abschreckung von einer solchen Abzweigung durch das Risiko frühzeitiger Entdeckung."

Um für die Anwendung von Sicherungsmaßnahmen eine Planungs- und Bewertungsgrundlage zu schaffen und um die in Artikel 30 VA geforderte Erklärung zum technischen Abschluß der Nachprüfungen abgeben zu können, hält die IAEA eine Quantifizierung dieser Zielgrößen für erforderlich. Dies erfolgt durch die Aufstellung von numerischen Entdeckungszielen. Diese sind:

- signifikante Menge
- Entdeckungszeit
- Entdeckungswahrscheinlichkeit und
- Fehllalarmwahrscheinlichkeit.

Zwar wurden die derzeit für diese Entdeckungsziele angesetzten Werte nur als vorläufig akzeptiert, sie sind jedoch de facto nur dann in

Frage zu stellen, wenn sie aus der Sicht der IAE0 durch bessere Alternativen ersetzt werden können.

Die Vorgabe quantitativer Zielgrößen, auch wenn sie nicht mechanisch, sondern nur als Richtlinien angewendet werden sollen, führt zwangsläufig dazu, daß die in einem Safeguardskonzept vorzusehenden Maßnahmen hinsichtlich ihres Zielerreichungsgrades quantifizierbar sein oder (mehr oder weniger subjektiv) quantifiziert werden müssen. Bei diesem technisch-quantitativen Ansatz erfolgt die Planung und Bewertung von Maßnahmen unter der Sicht, welchen numerischen Beitrag sie zu den Zielvorgaben erbringen können.

Zwar ist sich die IAE0 bewußt, daß die quantifizierten Entdeckungsziele nicht als starre Vorgaben angewendet werden können und leitet daher aus den Entdeckungszielen Inspektionsziele ab, bei deren Festlegung u.a. technische Machbarkeit und anlagenspezifische Gegebenheiten berücksichtigt werden, jedoch wird das Prinzip eines quantifizierten Safeguardsmodells als solches nicht zur Diskussion gestellt. Die Meßgröße Entdeckungswahrscheinlichkeit ist für die IAE0 der zentrale Parameter, an dem sie Maßnahmenplanung, Mitteleinsatz und Effektivitätsbewertung ausrichtet.

Da derzeit kein Verfahren existiert, mit dem die Entdeckungswahrscheinlichkeit bei der Anwendung von CS-Maßnahmen quantifiziert werden kann, sind Safeguardsmodelle, die in wesentlichen Teilen oder, wie im Endlager erforderlich, nahezu ausschließlich auf CS-Maßnahmen basieren, mit diesem Ansatz nicht objektiv planbar und in ihrer Wirksamkeit berechenbar. Das führt dazu, daß sie von der IAE0 als nicht akzeptierbar eingestuft werden. Diese Tatsache wurde auch als das grundsätzliche Problem für das Safeguardskonzept des Endlagers identifiziert.

Hier ist ein Ansatzpunkt für eine fundamentale Kritik zu sehen. Das im Prinzip einleuchtende Vorgehen, durch numerische Zielvorgaben eine

objektivierbare Planungsbasis zu schaffen, läßt sich in der Praxis nicht durchgehend realisieren. Solange CS-Maßnahmen einerseits in der Safeguardspraxis eine bedeutende Rolle spielen und spielen müssen, andererseits jedoch nicht oder nur durch subjektive Wertung quantifizierbar sind, führt dies zu einer Verzerrung der Planungsdaten, die das Ziel einer objektivierbaren Planungsbasis in Frage stellt. Die Aufgabe bestände darin, durch Entwicklung alternativer Planungs- und Bewertungsverfahren die Safeguardsphilosophie der IAEA dahingehend zu ertüchtigen, daß auch Safeguardskonzepten ohne objektiv quantifizierbare Entdeckungswahrscheinlichkeit die Attribute Effektivität und Glaubwürdigkeit zugebilligt werden können. Daß dies, zumindestens für Einzelfälle, auf Konsensbasis durchführbar ist, ist Voraussetzung für die Anwendbarkeit des vorgeschlagenen Safeguardsmodells 3. Hier müßte mit der IAEA ein Konsens hinsichtlich der Bewertung der vorgesehenen Möglichkeit der permanenten Design-Reverifikation erzielt werden, die zwar offensichtlich ein erhebliches Erschwernis für eine Abzweigung darstellt, deren Wirksamkeit jedoch nicht endgültig verifiziert werden kann.

5.1.2 Überwachung des Spaltstoffflusses

Bei der Unterzeichnung des NV-Vertrages am 28. November 1969 hat die Regierung der Bundesrepublik Deutschland u.a. erklärt, daß sie

- davon ausgehe, daß die im Artikel III NV-Vertrag beschriebenen Übereinkünfte zwischen IAEA und der Europäischen Atomgemeinschaft auf der Grundlage des Prinzips der Verifikation geschlossen werden, und daß die Verifikation in einer Weise erfolgt, welche die politischen, wissenschaftlichen, wirtschaftlichen und technischen Aufgaben von EURATOM nicht beeinträchtigt (Ziffer 13 der Erklärung),
- darauf bestehe, daß die Sicherungsmaßnahmen.....nur auf Ausgangs- und besonderes spaltbares Material und in Übereinstimmung mit dem Grundsatz einer wirksamen Sicherung des Spaltstoffflusses an be-

stimmten strategischen Punkten Anwendung finden (Ziffer 14 der Erklärung).

Sie erklärte weiter, daß sie den NV-Vertrag erst dann zu ratifizieren beabsichtige, wenn zwischen EURATOM und IAEO ein dem Artikel III des NV-Vertrages entsprechendes Abkommen abgeschlossen sei, das nach Form und Inhalt die Voraussetzungen der oben erwähnten Ziffern ihrer Erklärung erfüllt (Ziffer 17 der Erklärung).

Diese gemeinsam mit anderen EURATOM-Staaten aufgestellten Grundsätze sind im Verifikationsabkommen festgelegt und bestimmen bislang die Position der Bundesregierung.

In den Erwägungsgründen zum Verifikationsabkommen wird u.a. genannt, daß "die Organisation..... gegenüber der internationalen Gemeinschaft verantwortlich zu gewährleisten hat, daß wirksame Sicherungsmaßnahmen aufgrund des NV-Vertrages angewendet werden."

In den Artikeln 1 und 3 VA

- verpflichten sich die Staaten der Gemeinschaft nach Maßgabe des Abkommens Sicherungsmaßnahmen für das Ausgangs- und spaltbare Material zum Zwecke der Nachprüfung anzunehmen, daß keine Abzweigung erfolgt ist (Artikel 1) und
- verpflichtet sich die Gemeinschaft, mit der IAEO nach Maßgabe des Übereinkommens zusammenzuarbeiten, um sich zu vergewissern, daß derartiges Ausgangs- und besonderes spaltbares Material nicht für Kernwaffen oder sonstige Kernsprengkörper abgezweigt wird.

Bei strenger Auslegung des Verifikationsabkommens könnte argumentiert werden, daß , da sich die Überwachung nur auf das Material und nicht auf

die Anlagen bezieht, die Betrachtung von Abzweigungsszenarios, die eine heimliche Designänderung der Anlage erfordern, wie z.B. interne Abzweigung oder Entwendung über geheime Zugänge, nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Eine ausreichende Überwachung könnte dann mit den Modellen 1 oder 2 erfolgen.

Solange zumindest im Prinzip die Möglichkeit besteht, sich durch direkte Kontrolle positiv vom Vorhandensein des Materials überzeugen zu können, kann mit dem Grundsatz der Überwachung des Spaltstoffflusses an strategischen Punkten argumentiert werden. Da diese Flußüberwachung im Endlager nicht mehr möglich ist, - spätestens sind die ELG und damit der Spaltstoff nach dem Verfüllen nicht mehr zugänglich - fehlt damit die Argumentationsgrundlage, um die Überwachung auf das Material selbst zu beschränken und die Berücksichtigung von Abzweigungsszenarios, die eine heimliche Anlagenänderung erfordern, auszuschließen.

Eine wirksame Überwachung nach dem Grundsatz der Spaltstoffflußkontrolle an strategischen Punkten läßt sich im Endlager jedoch technisch nicht mehr durchführen, so daß von daher zusätzliche Vereinbarungen getroffen werden könnten, um der IAEA eine in ihrer Aussagekraft gleichwertige Überwachungsmöglichkeit einzuräumen. Derartige Vereinbarungen, die durchaus mit dem Geist des Verifikationsabkommens vereinbar wären, ziehen aber sicherlich juristische Fragen, die schwierig zu lösen sind, nach sich.

5.1.3 Entlassung des Spaltstoffes aus der Überwachung

Die Grundlage für die Beendigung von Safeguardsmaßnahmen ist im Artikel 11 des VA genannt: "Die Sicherungsmaßnahmen nach diesem Übereinkommen werden im Bezug auf Kernmaterial beendet, wenn die Gemeinschaft und die Organisation feststellen, daß das Material verbraucht oder in einer Weise verdünnt worden ist, daß es für eine nukleare Tätigkeit, die unter dem Gesichts-

punkt der Sicherungsmaßnahmen von Belang ist, nicht mehr verwendbar ist oder praktisch nicht rückgewinnbar geworden ist."

Diese Kriterien werden von den ELG nicht erfüllt. Das Kernmaterial in den ELG ist weder verdünnt noch in der Weise verbraucht, daß es für eine nukleare Tätigkeit nicht mehr verwendbar ist. Einziger Ansatzpunkt wäre hier die Argumentation, daß die ELG durch die Art der Lagerung praktisch nicht rückholbar (rückgewinnbar) sind. Diese Argumentation kann jedoch wenn überhaupt nur für die Nachbetriebsphase des Lagers herangezogen werden, d.h. wenn alle Strecken und Schächte verfüllt und die Förderanlagen abgerissen sind. Während der Betriebsphase des Lagers kann die Einstufung des eingelagerten Materials als nicht rückholbar ausgeschlossen werden, da alles benötigte Gerät zum Wiederfreilegen der bereits eingelagerten ELG unter Tage vorhanden ist.

Damit würde, selbst wenn man die Nichtrückholbarkeit der ELG für die Nachbetriebsphase voraussetzt, die Überwachbarkeit des Lagers in der Betriebsphase nicht verbessert, obwohl schon in der Betriebsphase wegen des Anstiegs der Gebirgstemperatur eine Abzweigung schwieriger wird.

Auch die Rückholbarkeit in der Nachbetriebsphase kann nicht als prinzipiell technisch unmöglich eingestuft werden. Die Rückholbarkeit muß vielmehr als eine Frage des einzusetzenden technischen Aufwandes angesehen werden. Angesichts der Attraktivität des eingelagerten Materials ist nicht davon auszugehen, daß die Überwachungsbehörde bereit ist, das Material in der Nachbetriebsphase als nichtrückholbar einzustufen und damit aus der Überwachung zu entlassen.

Eher anzuwenden sind die Kriterien des Artikels 35 VA. ...Sind die in Artikel 11 genannten Voraussetzungen nicht erfüllt, ist die Gemeinschaft jedoch der Auffassung, daß die Rückgewinnung von Kernmaterial, das Sicherungsmaßnahmen nach diesem Übereinkommen unterliegt, aus Rückständen vorläufig nicht möglich oder erwünscht ist, so konsultieren die Organisation

und die Gemeinschaft einander über die Anwendung geeigneter Sicherungsmaßnahmen. Eine Aussage darüber, was von der IAEA als geeignete Sicherungsmaßnahme angesehen wird, ist derzeit noch nicht möglich.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß eine endgültige Entlassung des Materials aus der Überwachung voraussichtlich auch für die Nachbetriebsphase mit großer Wahrscheinlichkeit ausscheidet. Das Abkommen sieht für diesen Fall eine gegenseitige Verständigung über geeignete Maßnahmen vor. Die Vorstellungen der Überwachungsbehörden über diese Maßnahmen müssen noch ausgelotet werden.

5.1.4 Berücksichtigung der Abschreckung

Das Ziel der Sicherungsmaßnahmen ist in Artikel 28 VA festgelegt:

"Ziel ist die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung signifikanter Mengen Kernmaterials sowie die Abschreckung von einer solchen Abzweigung durch das Risiko frühzeitiger Entdeckung."

Der Grad der Abschreckung ist das Ergebnis einer Abwägung der Konsequenzen der Entdeckung gegen die Vorteile einer Abzweigung. Der Begriff Risiko kann definiert werden als das Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und den Konsequenzen dieses Ereignisses. Von diesen beiden Größen wird von der IAEA aufgrund ihres rein technischen Ansatzes, bei dem die Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Abzweigung als Zielgröße im Mittelpunkt steht, nur die Eintrittswahrscheinlichkeit (= Entdeckungswahrscheinlichkeit einer Abzweigung) betrachtet.

Die zweite Komponente des Risikobegriffes, die Konsequenzen einer entdeckten Abzweigung, enthält eine Vielzahl von nicht oder nur schwer quantifizierbaren Größen. Es liegen bislang auch keine Ansätze vor, die eine Quantifizierung ermöglichen. Ausgangspunkt wäre hier, die Einräumung

eines Safeguardskredites, entsprechend dem Grad der Sanktionsfähigkeit eines Staates. Für die Bundesrepublik Deutschland beispielsweise als rohstoffarmes und stark exportorientiertes Land wäre die Sanktionsfähigkeit und damit das Ausmaß der Folgen einer Entdeckung sehr hoch anzusetzen. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren würde sich auch bei einer niedrigeren technischen Entdeckungswahrscheinlichkeit für die Bundesrepublik Deutschland ein hohes Entdeckungsrisiko ergeben. Eine kurzfristige Durchsetzbarkeit dieser Betrachtungsänderung bei der IAEA ist jedoch sehr unwahrscheinlich.

5.2 Weiter- und ggf. Neuentwicklung von Safeguardselementen

Während der Betriebsphase besteht das Problem darin, durch geeignete Maßnahmen der Überwachungsbehörde eine quantifizierbare Gewissheit darüber zu vermitteln, daß das eingelagerte Material noch vorhanden ist. Diese Quantifizierung ist im strengen Sinne nur für Bilanzierungsmaßnahmen möglich. Für die numerische Bestimmung der Aussagekraft von CS-Maßnahmen wurde noch keine Methodik entwickelt; der einer Verifizierung mit CS anhaftende Fehler läßt sich nicht genau angeben. Dieses Problem läßt sich bei anderen Anlagen in der Regel dadurch entschärfen, daß die Materialverifizierung grundsätzlich durch Bilanzierungsmaßnahmen erfolgt und CS-Maßnahmen nur für Materialteilmengen und für begrenzte Zeiträume als unterstützende Maßnahmen eingesetzt werden. Diese Einschränkungen (Begrenzung auf Teilmengen und limitierte Zeiträume) müssen für das Endlager entfallen. Eine Überwachung wäre nur noch mit einem reinen CS-Konzept möglich, und hierfür fehlt, wie bereits ausgeführt, sowohl die vertragliche als auch die methodische Grundlage.

D.h., selbst unter der Voraussetzung, daß Safeguardselemente neu- oder weiterentwickelt werden und damit eine CS-gestützte Überwachung des eingelagerten Materials ermöglichen, ist ihre Einordnung in das Safeguardssystem nur als ergänzende Maßnahmen möglich. Sie stellen allein keine grundsätzliche Lösung des identifizierten Problems dar. Auch unter

der Voraussetzung, daß es gelingt, neue Safeguardselemente zu entwickeln, sind noch erhebliche Anstrengungen zur Weiterentwicklung der dem Safeguardssystem zugrundeliegenden Theorie erforderlich, um diese neuen Elemente als wesentliche Maßnahmen in das Safeguardssystem einzuordnen. Die Entwicklung neuer Safeguardselemente wäre damit nur ein erster Schritt zur Lösung des Überwachungsproblems.

In diesem Zusammenhang ist auch das backfitting-Problem einzuordnen. Solange die Möglichkeit besteht, im Brennstoffkreislauf in zeitlich aufeinanderfolgenden Schritten Material wieder zu messen, ist die Anwendung von in ihrer Wirksamkeit nicht genau quantifizierbaren CS-Maßnahmen für das Safeguardssystem tolerierbar, da diese Unsicherheit zumindestens im Nachhinein beim Meßvorgang wieder eliminiert werden kann. Besteht die Möglichkeit der nachträglichen Eliminierung der CS-Unsicherheit durch einen Meßvorgang nicht mehr, so müssen zur Erhaltung der Aussagefähigkeit des Safeguardssystems sehr strenge Maßstäbe an die tolerierbare Fehlerbreite der CS-Maßnahmen gestellt werden.

An einem Beispiel verdeutlicht: Bei der Zwischenlagerung von Brennelementen, die in einem späteren Schritt wiederaufgearbeitet werden sollen, wird spätestens bei der Messung des Materials in der Wiederaufarbeitungsanlage eine Abzweigung aus der Lagerphase entdeckt. Damit kann die Wirksamkeit der CS-Maßnahmen während der Lagerzeit zumindestens im nachhinein überprüft werden. Je länger die im Materialzyklus zwischen zwei Messungen durch CS-Maßnahmen zu überbrückende Zeit ist, desto höhere Anforderungen müssen an die Wirksamkeit dieser CS-Maßnahmen gestellt werden. Ist die Möglichkeit der abschließenden Messung nicht mehr gegeben, so müssen die angewendeten CS-Maßnahmen die gleiche Sicherheit wie ein Meßvorgang bieten, um das Safeguardsziel erreichen zu können.

Ohne eine chemische Auflösung ist die Messung abgebrannter BE nur relativ unvollkommen möglich. Unterbleibt die Wiederaufarbeitung mit der dadurch gegebenen Meßmöglichkeit, so könnte das als Argument herangezogen werden, die gesamte BE-Lagerung aufwendiger und schärfer zu überwachen. Neben den

genannten existieren weitere zu lösende Probleme wie z.B. die Verfälschungssicherheit (tamperproofness) der einzelnen Komponenten des CS-Systems.

5.2.1 Einsatz und Wirkungsbereich von Surveillance-Maßnahmen (Inspektorpräsenz und optische Überwachung)

Eingesetzt wird die optische Überwachung als Materialflußindikator über Tage und unter Tage; über Tage an den Förderanlagen der Schächte, um damit den Rücktransport von ELG über diese Anlagen erkennen zu können und unter Tage zur Beobachtung des Einlagerungsvorganges und Überwachung der Strecken gegen Rückholung des Materials. Die IAEA hat bereits seit einer Reihe von Jahren Erfahrung im Einsatz von TV-Kameras zu Überwachungszwecken. Die hierbei auftretenden Probleme liegen im wesentlichen in der Qualität der Bilder und in der Zuverlässigkeit der Geräte. Als Vorteil gegenüber Filmkameras bieten TV-Kameras eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Anpassung an unterschiedliche Einsatzbedingungen, hier z.B. Einsatz als Restlicht- oder Infrarotkamera und die Möglichkeit der Verbindung mit anderen Ausrüstungen wie z.B. motion detector und Einblendung von Datum und Uhrzeit. Das Problem der Zuverlässigkeit ist für das Endlager nicht so stark zu bewerten, da eine permanente Inspektorpräsenz in der Anlage vorausgesetzt wird. Bei einer automatischen Betriebszustandsüberwachung ist es möglich, Gerätefehlfunktionen innerhalb von Minuten oder Stunden zu erkennen. Bei redundanter Auslegung von Überwachungsmaßnahmen müßten diese Ausfälle damit als unkritisch hinsichtlich des Überwachungsziels angesehen werden können.

Aufgrund der Vielzahl der vorgesehenen optischen Überwachungsinstrumentierungen erscheint die Einrichtung einer Überwachungszentrale im Endlager sinnvoll, von der aus der Betriebszustand der Überwachungsinstrumente permanent geprüft wird, und die eine zentrale Einrichtung zur Speicherung und visuellen Prüfung der aufgezeichneten Bilder enthält. Wegen der Ausdehnung der Anlage sind zwischen den Überwa-

chungsinstrumenten vor Ort und der Zentrale Entfernungen von mehreren Kilometern zu überbrücken. Für das Überbrücken dieser Entfernungen und das Zusammenfassen von Einzelinstrumenten in einer Zentrale sind Erweiterungen bzw. Neuentwicklungen erforderlich. Als eine vergleichbare Entwicklung, wenn auch in wesentlich kleinerem Maßstab, kann das für den Einsatz in Candu-Reaktoren vorgesehene Überwachungssystem betrachtet werden. Dieses System befindet sich z.Zt. noch in der Entwicklung bzw. Erprobung und dürfte wertvolle Erfahrungen für die Auslegung der Kameraüberwachung im Endlager beitragen können.

5.2.2 Einsatz neuartiger Safeguardstechniken

Vorstellbar sind eine Reihe von Detektierungsmöglichkeiten zur Erkennung von Abzweigungsversuchen. Näher zu untersuchen wäre hierbei z.B. der Einsatz mikroseismischer Geräte als Versiegelungs- und Containmentüberwachungseinrichtungen für bereits verfüllte Strecken bzw. Felder. Diese Instrumente hätten die Aufgabe, den Einsatz bergtechnischen Geräts oder Bohroperationen in bereits verfüllten Strecken und Feldern anzuzeigen. Erschwerend ist hierbei sicherlich, daß die Verfüllung von Strecken und das Auffahren neuer Strecken zeitgleich in relativer räumlicher Nachbarschaft erfolgt, so daß hohe Anforderungen an das räumliche Ortungsvermögen der seismischen Instrumente gestellt werden müssen, um normale Betriebsvorgänge von potentiellen Abzweigungsaktivitäten unterscheiden zu können. Als vorteilhaft könnte sich hier ggf. auswirken, daß die Einlagerung nur im Rückbau vorgesehen ist und damit die Richtung einer georteten Schwingungsquelle als Unterscheidungsmerkmal für erlaubte und unerlaubte Aktivitäten herangezogen werden kann.

Detailliert zu untersuchen wäre in jedem Fall die Aussagefähigkeit von solchen Detektormeldungen, da mikroseismische Instrumente bislang für Safeguardszwecke noch nicht eingesetzt wurden und damit auch keinerlei Erfahrungen für diesen Einsatzzweck vorliegen. Insbesondere zu betrachten sind dabei die zu erwartenden Fehlalarmraten und die notwendigen

Folgeoperationen, sowie die Störungs- und Täuschungsmöglichkeiten zur Verschleierung eines Abzweigungsversuches. Da diesen Aspekten bei konventionellen Anwendungen in der Regel sehr viel weniger Gewicht zugemessen werden muß, ist zur Bestimmung dieser Größen noch ein erheblicher Aufwand anzusetzen.

5.2.3 Anwendung von Anlagenkontrollen

Für Überwachungsmodell 3 wurde bereits als zusätzliche Maßnahme die Möglichkeit einer permanenten Design-Reverifikation vorgesehen. Diese Maßnahme kommt jedoch in ihrer Auswirkung einer weitgehenden Anlagenkontrolle gleich und wirft damit eine Vielzahl grundsätzlicher Probleme auf. Es ist bislang das erklärte Ziel der Bundesrepublik Deutschland und der anderen EURATOM-Staaten, die IAE0-Kontrollen auf das Material selbst zu beschränken und den IAE0-Inspektoren Zugang nur zu den festgelegten strategischen Punkten zu gewähren. Das Zugeständnis der permanenten Design-Reverifikation stellt eine erhebliche Abweichung von diesem Grundsatz dar und sollte wegen seiner möglichen Signalwirkung eingehend geprüft werden. Neben der damit verbundenen Aufgabe von Souveränitätsrechten stellt diese Maßnahme auch eine erhebliche Belastung für den Betreiber dar, da der Inspektor bei seinen Kontrollen durch Betriebspersonal begleitet werden muß. Zwar kann davon ausgegangen werden, daß im Endlager keine schutzbedürftigen kommerziellen oder industriellen Verfahren oder Geräte eingesetzt werden, die eine strikte Zugangskontrolle erfordern, jedoch könnten zur Aufrechterhaltung eines ungestörten Betriebsablaufes temporäre und örtliche Einschränkungen des Bewegungsspielraumes für den Inspektor notwendig werden.

In ähnlicher bzw. noch verschärfter Weise zu betrachten wäre als weitere Überwachungsmaßnahme gegen die Freilegung eines zusätzlichen geheimen Zugangs eine großräumige Geländeüberwachung. Bei Abfliegen eines abgegrenzten Gebietes z.B. mit Helikopter zwecks visueller Geländebeobachtung oder Luftaufnahmen würden umfangreichere bergmännische Aktivitäten si-

cherlich erkannt werden können. Hierbei ist jedoch zu erwägen, ob die dabei in Kauf zu nehmenden Souveränitätseinbußen noch akzeptierbar sind.

Wesentlich bei diesen wie bei allen indirekten Überwachungsmaßnahmen ist, daß das Entdecken einer Anomalie nicht mit einer Abzweigung gleichgesetzt werden kann. Wird von diesen Maßnahmen eine Anomalie angezeigt, so kann dies nur als Anlaß für eine nähere Prüfung herangezogen werden. Der Beitrag, den indirekte Überwachungsmaßnahmen im Rahmen eines Safeguardskonzeptes übernehmen können, endet spätestens dann, wenn bei der Überprüfung einer indizierten Anomalie keine zufriedenstellende Erklärung gefunden werden kann. Spätestens an diesem Punkt müssen dann Maßnahmen einsetzen, die mit einer quantifizierbaren Sicherheit Aufschluß über das Vorhandensein des Materials ermöglichen.

5.3 Anpassung des Referenzkonzeptes an die gültige Safeguardspraxis

Im Hinblick auf das Safeguardssystem bestehen die Problempunkte des Referenzkonzeptes darin, daß

- das Material auch nach der Einlagerung weiterhin überwacht werden muß und
- wegen der Unzugänglichkeit des Materials die in der gültigen Safeguardspraxis gestellten Forderungen hinsichtlich Verifizierungsmöglichkeiten nicht erfüllt werden können.

Als Ansatzpunkte für eine Anpassung des Referenzkonzeptes ergeben sich damit:

1. Konditionierung oder Lagerung des Materials in der Weise, daß die Terminierungskriterien für Safeguardsüberwachung erfüllt werden oder
2. Lagerung des Materials in der Weise, daß es für Verifizierungsmaßnahmen zugänglich bleibt.

Die Konditionierung des Materials in einer Form, daß die Terminierungskriterien als erfüllt angesehen werden können, würde die Überführung des Brennstoffes in ein Glas- oder Keramikprodukt erfordern. Diese Möglichkeit wurde als Behandlungsweg Auflösen, Verdünnen und Verfestigen von abgebranntem Kernbrennstoff näher betrachtet. Hierbei wurde die Konditionierung des Brennstoffes in Form von PAMELA-Kokillen zugrunde gelegt. Als herausragende Kenngrößen ergaben sich für diesen Behandlungsweg, daß bei einem Durchsatz von ca. 700 Jahrestonnen ca. 465.000 PAMELA-Kokillen pro Jahr an verglastem Kernbrennstoff anfallen. Zur Einlagerung dieser Kokillen würden ca. 6-8 Schächte pro Endlagerbergwerk gebraucht, wobei ein Salzstock der Größe Gorleben bei günstigen Voraussetzungen insgesamt max. 425.000 Kokillen aufnehmen könnte /5-1/. Dieser Behandlungsweg scheidet damit als realistische Alternative aus.

Eine Möglichkeit bei Endlagergebinden mit unverdünntem Kernmaterial die Terminierungskriterien durch die Art der Einlagerung zweifelsfrei zu erfüllen, existiert unseres Erachtens nicht. Auch bei der als back-up-Lösung vorgesehenen Bohrlochlagerung ohne verlorene Abschirmung kann die Rückholbarkeit des Materials nicht ausgeschlossen werden. Alle Rückholbarkeitsbetrachtungen haben zunächst als variable Größe den gegenwärtigen Stand der Bergbautechnik. Die endgültige Entlassung des Materials aus der Überwachung würde voraussetzen, daß das Material auch innerhalb der zu betrachtenden Zeiträume nicht rückholbar bleibt. Im Hinblick darauf, daß auch der inhärente Selbstschutz von nichtabgeschirmten Gebinden mit der Zeit abnimmt und weitere Fortschritte in der Bergbautechnik unterstellt werden müssen, wird die endgültige Einstufung des Materials als nicht rückholbar aus der Sicht der Überwachungsbehörde nicht möglich sein, sondern diese Bewertung an die technologische Entwicklung im Bergbau gekoppelt werden müssen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund des hohen Proliferationspotentials, das das Endlager für einen abzweigungswilligen Staat darstellt, zu sehen.

D.h., bei einer unverdünnten Konditionierung des Endlagergutes ist für beide in Frage kommenden Einlagerungsalternativen (Streckenlagerung mit verlorener Abschirmung oder Bohrlochlagerung ohne verlorene Abschirmung)

nicht mit einer endgültigen Entlassung des Materials aus der Überwachung zu rechnen. Wohl werden für beide Lagerungsarten die Voraussetzungen für die Anwendung von Artikel 35 VA erfüllt, daß die Rückgewinnung von Kernmaterial... vorläufig nicht möglich oder erwünscht ist..... Für diesen Fall ist vorgesehen, daß die Organisation und die Gemeinschaft einander über die Anwendung geeigneter Sicherungsmaßnahmen konsultieren. Eine Aussage darüber, was von der IAEA als geeignete Sicherungsmaßnahme angesehen werden könnte, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt Spekulation, da keine übertragbaren Erfahrungen vorliegen. Zur näheren Klärung ist ein intensiver Diskussionsprozeß mit und zwischen den Überwachungsbehörden erforderlich.

Bei einer Lagerung in der Art, daß das Material für eine Verifizierung weiter zugänglich bleibt, würden ungeachtet der technischen Durchführbarkeit die wesentlichen Ziele des Endlagerkonzeptes nicht erreicht: die Isolierung des Materials von der Biosphäre und von weiteren menschlichen Zugriffsmöglichkeiten. Eine zugängliche Lagerung unter Tage dürfte schon aus Gründen der Wärmeabfuhr und der Gesteinsstabilität so viele Fragen aufwerfen, daß dies nicht mehr als Änderung des Referenzkonzeptes angesehen werden kann, sondern die Erarbeitung eines neuen Konzeptes erforderlich macht.

Auch ist zunächst nicht ersichtlich, welche Vorteile unter diesen Voraussetzungen eine unterirdische Lagerung gegenüber einer oberirdischen aufweisen kann. Unter Safeguardsgesichtspunkten wäre eine Lagerung über Tage sicherlich vorzuziehen, da dabei z.B. eine Abzweigung durch vorgetäuschte Unfälle mit Zugangsverschüttung ausgeschlossen werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß realistische Möglichkeiten durch Änderung des Referenzkonzeptes die Überwachbarkeit des Endlagers nach der derzeitigen Safeguardspraxis zu gewährleisten, z.Zt. nicht zu sehen sind. Art. 35 VA könnte jedoch ggf. den Ansatzpunkt für die Diskussion über eine von der gegenwärtigen Safeguardspraxis abweichende Überwachungsvereinbarung darstellen. Die vorausgehenden Überlegungen gelten strenggenommen

nur für den Fall von abgebrannten Leichtwasserreaktor-Kernbrennstoffen. Für Brennstoffe aus speziellen Reaktortypen können unter Umständen die Kriterien von Artikel 11 des VA durch die hier auftretenden andersartigen Voraussetzungen hinsichtlich Abbrand des Brennstoffes, seiner Verdünnung oder durch das Fehlen eines industriell einsetzbaren Wiederaufarbeitungs- verfahrens eine Terminierung von Safeguardsmaßnahmen denkbar erscheinen lassen.

5.4 Lösungsmöglichkeiten im institutionellen Bereich

Der Ausgangspunkt für institutionelle Lösungsansätze ist die Tatsache, daß zur Durchführung einer Abzweigung neben den erforderlichen technischen Maßnahmen im erheblichen Umfang organisatorische Arbeiten abzuwickeln sind. Durch multinationale Kooperationsformen können im organisatorischen Bereich zusätzliche Barrieren errichtet werden, die die Durchführung einer Abzweigung organisatorisch erschweren und das Entdeckungsrisiko erhöhen. Ein weiterer Aspekt ist ggf. der, daß durch den Ausbau internationaler Verflechtungen die Sanktionsfähigkeit der Staaten erhöht wird.

Für ein Endlager in einem EURATOM-Mitgliedsstaat ist zunächst als logische Konsequenz der Eigentumsverhältnisse das Einbeziehen EURATOMs in die Führung und den Betrieb des Lagers zu berücksichtigen. Die Einrichtung eines direkten Endlagers unter alleiniger nationaler Regie eines EURATOM-Staates würde voraussetzen, daß die Gemeinschaft auf ihre Eigentumsrechte an dem eingelagerten Material verzichtet. Angesichts der langfristigen Proliferationsaspekte des Endlagers erscheint ein Verzicht EURATOM's auf Eigentumsansprüche und damit ggf. verbundene erweiterte Kontrollmöglichkeiten mit den Zielen der Gemeinschaft nicht vereinbar.

Die Gemeinschaft hat nach Art. 77 des EURATOM-Vertrages die Verpflichtung übernommen, zu gewährleisten, daß die Kernstoffe nicht anderen als den

vorgesehenen Zwecken zugeführt werden. Durch einen endgültigen Verzicht auf ihr Eigentumsrecht würde sich die Gemeinschaft von sonst ableitbaren erweiterten Mitsprache- und Kontrollmöglichkeiten entäußern und damit in ihrer Kontrollfunktion selbst beschneiden. Die Endlagerung von EURATOM-Material in alleiniger nationaler Regie eines Mitgliedsstaates muß von daher als schwer vereinbar mit dem Geiste des EURATOM-Vertrages eingestuft werden. Es ist auch zu prüfen, ob aus nationaler Sicht wünschenswert ist, ein direktes Endlager unter ausschließlicher nationaler Regie zu führen, da sich daraus eine wesentlich stärkere Verpflichtung gegenüber der internationalen Völkergemeinschaft ergeben kann, Verdachtsmomente, die als Abzweigungsversuche gedeutet werden können, zu entkräften.

Als alternative Lösung wäre denkbar, daß ein Mitgliedsstaat die Endlagerung im Auftrag der Gemeinschaft durchführt, wobei Auflagen der Gemeinschaft zu beachten sind. Diese Variante käme auch den Interessen der Bundesrepublik Deutschland am nächsten. Eigentums- und Sicherungsvorbehalt der Gemeinschaft wären gewährleistet und international nachprüfbar. Dieses Modell kann auch unter nationalen Akzeptanzgesichtspunkten als vorteilhaft bewertet werden.

Als Modell mit der höchsten institutionellen Proliferationsbarriere wäre die Durchführung der Endlagerung durch die Gemeinschaft selbst als multinationale Unternehmung anzusehen, wobei der Mitgliedsstaat Territorium und Infrastruktur zu Verfügung stellt. Die Endlagerung könnte dabei analog zu der in Art. 80 EURATOM-Vertrag vorgesehenen Hinterlegung von Kernmaterial erfolgen. Dieses Modell wirft jedoch aus nationaler Sicht wesentliche Akzeptanzprobleme auf, da es die Möglichkeit der Endlagerung fremden Endlagergutes aus EURATOM-Staaten impliziert. Angesichts der geografischen und politischen Situation der Bundesrepublik Deutschland bleibt zu prüfen, ob diese mit weitreichendem Hoheitsverzicht des Gastgeberstaates verbundene Lösung wünschenswert ist.

Die Berücksichtigung institutioneller Aspekte erhielt wesentliche Impulse durch die INFCE Konferenz und findet Niederschlag in der Arbeitsgruppe

IPS. Dabei ist jedoch zu sehen, daß institutionelle Aspekte von der IAEA als komplementäre, d.h. zusätzliche Maßnahmen und nicht Alternative zu einer stringenten technischen Überwachung angesehen werden.

Institutionelle Modelle mit multinationaler Mitsprache oder Kooperation stellen wegen der damit verbundenen Proliferationsbarriere sicherlich einen Lösungsansatz für die generelle NV-Problematik des Endlagers dar. Sie sind jedoch nicht geeignet, das Safeguardsproblem zu lösen. Für ein direktes Endlager im EURATOM-Bereich ist als Konsequenz der Gegebenheiten aus dem EURATOM-Vertrag zunächst an eine Institutionalisierung im multinationalen Rahmen von EURATOM zu denken. Aus der Sicht der IAEA ist dies keine einschneidende Veränderung gegenüber der derzeitigen Situation, die im EURATOM-Bereich bereits jetzt durch multinationale Kontrolle geprägt ist. Institutionelle Modelle für die IAEA müßten daher über den EURATOM-Rahmen hinausgehen und eine internationale Kooperationsform beinhalten. Neben den Fragen inwieweit eine internationale Kooperation für ein direktes Endlager durchführbar und für den Sitzstaat akzeptabel ist, wird auch durch ein internationales Kooperationsmodell das spezifische Safeguardsproblem nicht gelöst. Institutionelle Modelle können damit auf absehbare Zeit als Lösungsansatz für die Safeguardsproblematik eines direkten Endlagers ausgeschieden werden.

6 SCHLUßFOLGERUNGEN

Die Entwicklung eines international akzeptablen Überwachungskonzeptes für das direkte Endlager wirft eine Vielzahl von Problemen auf, die einer intensiven Diskussion mit den Überwachungsbehörden bedürfen und mit heutigem Kenntnisstand nicht a priori geklärt werden können.

| Endlagerungsphase | Safeguardseffektivität | | |
|--|------------------------|--|----------|
| | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
| Phase 1: Transport über Tage, Ausgang Konditionierungsanlage - Beginn der Schachtfahrt | ----- | akzeptabel | ----- |
| Phase 2: Transport unter Tage, Beginn der Schachtfahrt - Verfüllen vor Ort | ----- | akzeptabel, da ELG- noch zugänglich | ----- |
| Phase 3: Lagerung während der Betriebszeit, Versetzen der ELG-Schließen des Bergwerks (Verfüllen der Schächte) | ----- | offene Probleme | ----- |
| Phase 4: Nachbetriebsphase, nach dem Verfüllen der Schächte | ----- | offene Probleme | ----- |

Tabelle 6-1: Safeguardseffektivität während der verschiedenen Betriebsphasen des Endlagers

Was die Effektivität der nach heutigem Kenntnisstand möglichen Überwachungsmaßnahmen während der verschiedenen Betriebsphasen des Endlagers

betrifft (Tabelle 6-1), so läßt sich folgendes feststellen: Sowohl in der Phase des Übertagetransportes (Phase 1) als auch in der Phase des untertägigen Transportes der Endlagergebinde bis zu ihrem Verblasen vor Ort (Phase 2) kann eine ausreichende Überwachung gewährleistet werden.

Während der Betriebszeit können die Überwachungsmaßnahmen bereits versetzter Endlagergebinde (Phase 3) in permanenter Design-Reverifizierung (Überwachungsmodell 3) bestehen; die Bewertung ihrer Effektivität läßt jedoch offene Probleme erkennen. Ähnliches gilt für die Verifizierung der Integrität des stillgelegten Bergwerks in der Nachbetriebsphase (Phase 4).

Ein erster Lösungsansatz für das Safeguardsproblem des Endlagers (vgl. Tabelle 6-2) war in einer Änderung der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie gesehen worden. Danach müßte die IAEA ein Safeguardsmodell akzeptieren, das in wesentlichen Teilen bzw. in der Nachbetriebsphase ausschließlich auf CS-Maßnahmen basiert. Da in diesem Fall die Entdeckungswahrscheinlichkeit, d.h. die wesentliche Zielgröße der IAEA-Überwachung, nach dem heutigen Entwicklungsstand nicht quantifiziert werden kann, würde ein solcher Ansatz von der IAEA als nicht akzeptierbar eingestuft. Bei einem Auftreten von Anomalien, z.B. bei Fehlalarm, ist eine Verifizierung des Kernmaterials nicht möglich.

Auch ein zweiter Lösungsansatz, der die technische Weiterentwicklung von Safeguardselementen vorsieht, kann aus denselben Gründen keine grundsätzliche Lösung dieser inhärenten Überwachungsproblematik herbeiführen.

Ein dritter Lösungsansatz besteht darin, durch Änderung des Referenzkonzeptes (etwa durch Auflösen und Verdünnen des Brennstoffs) die Überwachbarkeit des Endlagers nach der derzeitigen Safeguardspraxis zu gewährleisten. Realistische Möglichkeiten sind auch in diesem Fall nicht in Sicht, da damit viele der gewünschten Charakteristika eines direkten Endlagers in Frage gestellt werden.

| Lösungsansatz | Modell 1 | Modell 2 | Modell 3 |
|---|--|----------|--|
| Änderungen in der bestehenden IAEA-Safeguards-Philosophie | IAEO müßte reines CS-Überwachungskonzept akzeptieren | | |
| | | | +intensive permanente Anlagenkontrolle |
| | -----z.Zt.keine Lösung----- | | |
| Weiter- und ggf. Neuentwicklung von Safeguards-elementen | keine grundsätzliche Lösung des Safeguardsproblem | | |
| Anpassung des Referenzkonzeptes an die gültige Safeguardspraxis | keine realistische Möglichkeit in Sicht | | |
| Institutionelle Lösungsansätze | Zusätzliche Proliferationsbarrieren, aber keine Lösung der Safeguardsproblematik | | |

Tabelle 6-2: Bewertung der Lösungsansätze

Institutionelle Modelle mit multinationaler Mitsprache oder Kooperation (vierter Lösungsansatz) stellen wegen der mit ihnen verbundenen Proliferationsbarrieren sicherlich eine Vereinfachung für die NV-Problematik des Endlagers dar. Neben der sich damit ergebenden Fragestellung der politischen Akzeptanz sind sie ebenfalls nicht geeignet, das Safeguardsproblem zu lösen. In diesem Umfeld muß bei einer Etablierung eines direkten Endlagers insbesondere auch die Rolle von EURATOM berücksichtigt werden, die sich aus ihren Eigentums- und Kontrollfunktionen ergibt.

Vor einem abschließenden Votum ist ein Vergleich von wesentlichen NV-Aspekten der direkten Endlagerung mit der Wiederaufarbeitung von Interesse. Tabelle 6-3 zeigt diesen Vergleich im Hinblick auf Unterschiede in anlagentechnischen, kontrolltechnischen sowie NV-politischen Bereichen. Diese kurze Zusammenstellung läßt die Vorteile für die Entsorgungsstrategie mit Wiederaufarbeitung deutlich werden.

| Wiederaufarbeitung | Direkte Endlagerung |
|---|--|
| Technische Charakteristika: - Plutoniumbestimmung ----- | |
| Pu-Bestimmung erfolgt nach der Brennstoffauflösung, Genauigkeit $\pm 1-2 \%$; Vergleich mit Abbrandrechnungen (zerstörende, analytische Messung) | Pu-Bestimmung durch Brennelementmonitor geplant, Genauigkeit $\approx \pm 5 \%$ (zerstörungsfreie Messung) |
| - Verbleib des Plutoniums | |
| Pu-Separierung durch Verarbeitung zu MOX-Brennelementen Einsatz des Pu im Kernreaktor | Pu-Anhäufung im unterirdischen Endlager ("Plutonium-Mine") Zugang zum Pu durch Zerfall der Spaltprodukte zunehmend leichter |
| - Technologie | |
| sensitive WAA-Technologie erforderlich, Exportkontrolle durch internationale Abkommen | konventionell verfügbare Bergbautechnik |

| | |
|--|---|
| Safeguards: | |
| ----- | |
| - Maßnahmen | |
| Pu- und U-Bilanzierung durch analytische Methoden; komplementär: Quasiechtzeitbilanzierung u.U. Containment/Surveillance | Item-Counting (Betriebsphase) Containment/Surveillance (nach Streckenverfüllung) |
| - Bewertung | |
| quantifizierbare IAEA-Leitlinien abdeckbar | keine back up-Lösung im Falle von Anomalien |
| NV-politische Aspekte: | |
| ----- | |
| Überschußlagerung von separiertem Pu ist innerhalb eines zukünftigen IPS-Systems realisierbar | Weltweite Anwendung der direkten Endlagerung auf Grund langfristiger Perspektiven (soziale und politische Stabilität) nicht wünschenswert |
| Im EURATOM-Bereich unbeschränktes Nutzungs- und Verbrauchsrecht | Im EURATOM-Bereich politisch unerwünschte Konsequenzen auf Grund der Eigentumsverhältnisse von Kernmaterial |

Tabelle 6-3: NV-Aspekte der direkten Endlagerung im Vergleich zur Wiederaufarbeitung

Auf Grund der hier zusammengetragenen Fakten und Analysen ist die Schlußfolgerung naheliegend, daß die Entsorgungsstrategie mit einer direkten Endlagerung unter Safeguardsgesichtspunkten problematisch ist, da die technische Realisierung eines Safeguardskonzeptes in Frage gestellt werden muß.

Für bestimmte Brennelementtypen, bei denen eine Wiederaufarbeitung nicht vorgesehen und nicht lohnend ist, kann Art. 35 VA eine Lösungsmöglichkeit anbieten. Für diesen Fall der begrenzten Einlagerung von abgebrannten Brennelementen könnte eine internationale Überwachung nach diesem Artikel aushandelbar sein.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- /3-1/ Münch E., Stein G., Gerstler R., Spilker H.M.:
Entwicklungen bei der Nichtverbreitung von Kernwaffen,
atw 28, Nr. 5, 1983, S. 254
- /3-2/ Closs K.D.:
Proliferation durch zivile Wiederaufarbeitungsanlagen,
Informationsveranstaltung über Fragen der Kernenergie,
KfK, Juni 1980
- /3-3/ Marshall W.:
Nuclear Power and the Proliferation Issue,
Graham Young Memorial Lecture, University of Glasgow,
Febr. 1978
- /3-4/ IAEA:
The Structure and Content of Agreements Between the Agency and
States Required in Connection with the Treaty on the Non-
Proliferation of Nuclear Weapons,
INFCIRC/153, Wien, Juni 1972
- /3-5/ Deutscher Bundestag:
Verifikationsabkommen,
Drucksache 7/995, 7. Wahlperiode, 1973
- /3-6/ INFCE Working Group 7:
Waste Management and Disposal
IAEA, Wien, 1980, STI/PUB/534, ISBN 92-0-159780-0
- /3-7/ von Baeckmann A., Powers J.:
IAEA Concerns about Advanced Containment and Surveillance
Concepts or other Alternative Safeguards Concepts,
Proceedings of the 22nd Annual Meeting of the Institute of
Nuclear Materials Management,
San Francisco, USA, Juli 1981, S. 42

- /4-1/ Europäische Gemeinschaften:
Verträge zur Gründung der Europäischen Gemeinschaften,
Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemein-
schaften, Katalognummer: FX-23-77-962-DE-C, 1978
- /4-2/ Kommission der Europäischen Gemeinschaften:
Verordnung Nr. 3227/76 zur Anwendung der Bestimmungen der
EURATOM-Sicherungsmaßnahmen,
Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 19. Jahrgang Nr. L 363,
31. Dez. 1976
- /4-3/ Mehling O., Engelmann H.-J.:
Persönliche Mitteilung
KfK-PAE, Sept. 1983
- Closs K.D.:
Persönliche Mitteilung,
KfK-PAE, Schreiben vom 3/2/84
- /4-4/ Engelmann H.-J.:
Persönliche Mitteilung,
DBE, März 1984
- /5-1/ Mehling O., Engelmann H.-J.:
Persönliche Mitteilung
KfK-PAE, Sept. 1983

8 VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

| | |
|------------|---|
| AE | Andere Entsorgungstechniken |
| BE | Brennelement |
| BHF | Bulk Handling Facility |
| C/S, CS | Containment/Surveillance |
| DBE | Deutsche Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe |
| DWR | Druckwasserreaktor |
| ELB | Endlagerbehälter |
| ELG | Endlagergebinde |
| EURATOM | Europäische Atomgemeinschaft |
| FA | Facility Attachement |
| HAW | Hochaktiver Waste |
| IAEA | International Atomic Energy Agency |
| IAEO | Internationale Atomenergieorganisation |
| INFCE | International Nuclear Fuel Cycle Evaluation |
| ISFM | International Spent Fuel Management |
| IPS | International Plutonium Storage |
| KFA | Kernforschungsanlage Jülich |
| KfK | Kernforschungszentrum Karlsruhe |
| LWR | Leichtwasserreaktor |
| MBZ | Materialbilanzzone |
| MWd | Megawatttag |
| NDA | Nondestructive Analysis |
| NMI | Nuclear Material Index |
| NV-Vertrag | Nichtverbreitungsvertrag |
| PAE | Projekt Andere Entsorgungstechniken |
| SIR | Safeguards Implementation Report |
| SM | Schwermetall |
| SMP | Schlüsselmeßpunkt |
| SP | Strategischer Punkt |
| SQ | Significant Quantity |

| | |
|--------|---|
| TLB | Trockenlagerbüchse |
| TLG | Trockenlagergebinde |
| TUG | Programmgruppe Technik und Gesellschaft |
| VA | Verifikationsabkommen |
| VACOSS | Variable Coding Seal System |
| WSQ | Weighted Significant Quantity |

9 VERZEICHNIS DER TABELLEN

| | Seite |
|---|--------|
| 2-1 Schachtdaten | 2 - 4 |
| 2-2 Vorgabedaten für das Endlagerbergwerk | 2 - 5 |
| 2-3 Angaben zu Lage und Abmessungen von Strecken und Feldern | 2 - 6 |
| 2-4 Angaben zur Werkstatt | 2 - 7 |
| 2-5 Daten des Plateauwagens | 2 - 9 |
| 2-6 Abmessungen im Einlagerungsfeld | 2 - 12 |
| 3-1 Terminierung von Safeguardsmaßnahmen und Langzeit-Safeguards: wesentliche Aspekte | 3 - 5 |
| 4-1 Prinzip der IAEO-Überwachung nach dem Verifikationsabkommen | 4 - 6 |
| 4-2 Endlagerinventar an angebrannten BE | 4 - 10 |
| 4-3 Überwachungsmaßnahmen in Phase 1 Transport über Tage | 4 - 63 |
| 4-4 Überwachungsmaßnahmen in Phase 2 1. Abzweigungsschritt | 4 - 64 |
| 4-5 Überwachungsmaßnahmen in Phase 2 2. Abzweigungsschritt | 4 - 65 |
| 4-6 Überwachungsmaßnahmen in Phase 3 1. Abzweigungsschritt | 4 - 66 |
| 4-7 Überwachungsmaßnahmen in Phase 3 2. Abzweigungsschritt | 4 - 67 |
| 4-8 Überwachungsmaßnahmen in der Nachbetriebsphase des Endlagers | 4 - 68 |
| 6-1 Safeguardseffektivität während der verschiedenen Betriebsphasen des Endlagers | 6 - 1 |
| 6-2 Bewertung der Lösungsansätze | 6 - 3 |
| 6-3 NV-Aspekte der direkten Endlagerung im Vergleich zur Wiederaufarbeitung | 6 - 4 |

10 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

| | Seite |
|--|--------|
| 2-1 Ablaufschema des Einlagerungsvorganges | 2 - 11 |
| 4-1 Materialflußschema | 4 - 22 |
| 4-2 Strategische Punkte unter Tage | 4 - 47 |

